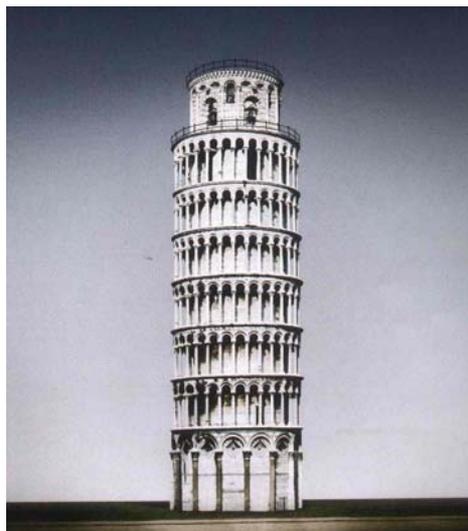


Il fenomeno della caduta

Corso di Didattica della Fisica (mod. 1)
TFA - A.A. 2014-2015



Il fenomeno della caduta



Il fenomeno della caduta

- Sono molti i fraintendimenti e le confusioni sulla «gravità» e sugli «effetti gravitazionali».
- Questi fraintendimenti solo raramente vengono espressi spontaneamente dagli studenti, e spesso non sono notati dagli insegnanti, ma ostacolano seriamente la comprensione di quanto viene insegnato.



Significato della parola «gravità»

- Un problema semantico (valido per i piccoli ma anche per i più grandi) nasce dalla risposta fornita da molti insegnanti e genitori quando il bambino chiede:
 - «*Perché le cose cadono?*».
- Una risposta molto comune è
 - «*A causa della gravità*»
- In genere si prende la risposta in senso letterale:
 - la forma «a causa» implica, in modo acritico, la conclusione che è stata data una ragione, cioè che si è data risposta al «perché».
 - un nome scientifico fornisce così una motivazione!



Significato della parola «gravità»

- Con la sintesi newtoniana, il significato viene allargato
 - dalla “mela” attratta dal terreno
 - alla “luna” attratta dalla Terra
 - ai pianeti attratti dal Sole.
- Lo studente dovrebbe riuscire a capire che
 - il nome «gravità» non fa altro che nascondere l'ignoranza;
 - nonostante la potenza della *sintesi newtoniana* e la bellezza della *teoria della relatività generale*, noi non possediamo alcun meccanismo per questa interazione e non abbiamo alcuna idea di come essa «funzioni»



Significato di “orizzontale” e “verticale”

- Pochissimi studenti possiedono definizioni operative chiare per i termini “*orizzontale*” e “*verticale*”.
- Per molti “verticale” è sinonimo di “perpendicolarmente al terreno”.
- Su una forte pendenza in una collina molti non sanno come fare marcia indietro rispetto all'idea originale, ma ben pochi hanno qualcosa con cui sostituirla.
- Pochi, quindi, hanno stabilito una connessione chiara tra la direzione della forza di gravità e il significato di “*orizzontale*” e “*verticale*”.



Aria e Gravità

- Spesso si acquisisce l'informazione secondo cui l'aria (o l'atmosfera) «**preme le cose verso il basso**», e traducono ciò associando pressione e gravità.
- Si tende a vedere la gravità come qualcosa che esercita una **spinta verso il basso** piuttosto che una **trazione verso il basso**:
 - l'aria preme il libro sul tavolo;
 - la gravità quindi «scompare» quando si toglie l'aria;
 - Qualcuno si aspetta che gli oggetti si mettano a fluttuare se posti sotto una campana di vetro nella quale sia stato fatto il vuoto, dal momento che non c'è l'aria a premerli verso il basso.



Significato di “vuoto”

- Una difficoltà concomitante sorge con la parola «**vuoto**».
- Spesso gli studenti non hanno ben chiaro il concetto di cosa sia, in particolare se si parla di “**vuoto cosmico**” nei film di fantascienza.



Esperimento della caduta sotto vuoto



- 右手のハンマーと左手の羽根（Falcon/タカの羽根）を同じ高さから同時に落下させて、ガリレオ・ガリレイの「落体の法則」を月表面上にて実証した有名な実験。およそ160cm（120cm？）の高さから落下させたハンマー（長さ39cm/重さ1.32kg）と羽根（重さ0.03kg）は、当然のごとく、同時に着地し実験は成功した。実験者はデービッド・スコット船長。なお、この実験の様子は月面車（LRV/Lunar Roving Vehicle）にマウントされていたTVカメラ（RCA Color Television Camera）で撮影されている。



Esperimento della caduta sotto vuoto



Il significato di «g»

- Molti studenti, ai quali viene chiesto quale sia il significato del simbolo “g” in cinematica e in dinamica, rispondono «**la gravità**».
- Essi non fanno alcun ricorso alla parola *accelerazione*.
- Quando l'indagine è spinta più a fondo, emerge quasi sempre che coloro che rispondono così
 - non hanno la minima comprensione di come questo simbolo venga da loro utilizzato, e
 - stanno semplicemente tentando di memorizzare delle procedure di risoluzione dei problemi.
- Essi non sono in grado di identificare chiaramente quale tipo di quantità venga rappresentata da questo simbolo, sebbene molti studenti lo vedano più somigliante a una forza che a qualsiasi altra cosa.



Sentire il peso di un oggetto

- Gli insegnanti e i libri di testo dichiarano spesso che «*noi sentiamo il peso di un oggetto mentre lo teniamo sollevato*» e con ciò sottintendono che la stessa forza agisce sul tavolo su cui il corpo è appoggiato.
- Questa frase è molto pericolosa se utilizzata in un corso di fisica, in cui dovremmo tentare di assicurare una comprensione precisa dei concetti scientifici e del linguaggio che stiamo creando.
- Il termine «**peso di un oggetto**» dovrebbe essere introdotto per indicare la forza gravitazionale esercitata dalla Terra sull'oggetto, e in seguito dovrebbe essere utilizzato esclusivamente in tale accezione.
- Una volta stabilito questo significato, la forza che noi sentiamo quando teniamo sollevato un oggetto non è il peso del corpo, ma la forza di contatto che l'oggetto esercita su di noi alla quale corrisponde una forza uguale ed opposta (3° Principio della dinamica).



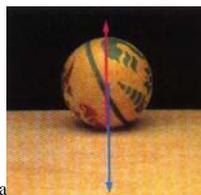
Peso ed assenza di peso

- La maggior parte degli insegnanti è ben cosciente dell'uso (o abuso) sconveniente del termine «**assenza di peso**» in connessione con i satelliti e i veicoli spaziali.
- Purtroppo non c'è molto da fare...! (è lo stesso problema di dire «*massa*» invece di «*peso*»)
- È però importante fornire agli studenti una comprensione di ciò che si sta descrivendo e del perché tale terminologia è impropria.



Peso ed assenza di peso

- Alcuni insegnanti (e autori) schivano il problema così:
 - Prima definiscono il significato della parola «peso» come la forza esercitata sull'oggetto dalla Terra,
 - Successivamente passano a descrivere il «peso» come il valore letto sulla scala della bilancia a cui è appoggiato l'oggetto.
- In tal modo indicano con questo termine la forza perpendicolare esercitata dal piano sull'oggetto.
 - Non solo questa non è la forza gravitazionale esercitata dalla Terra sull'oggetto, ma...
 - in molti casi le due forze non sono neppure numericamente uguali.



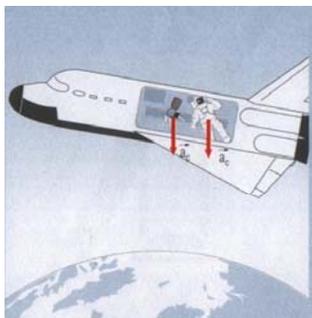
Sentire il peso di un oggetto

- Spesso la forza di contatto è numericamente uguale al peso dell'oggetto, ma questa uguaglianza non la rende la stessa forza.
- Ad esempio, le due forze sono numericamente differenti
 - se qualcosa sta premendo l'oggetto verso il basso, o
 - se lo sta sollevando in alto, oppure
 - se noi stiamo accelerando l'oggetto verso l'alto o verso il basso.
- Questa distinzione tra le due forze non è banale e, se non si mantiene, viene perduta una gran parte della comprensione del vocabolario scientifico.
- Inoltre, si rischia di minare la comprensione della coppia di forze (dovuta alla terza legge) che si genera nell'interfaccia tra due superfici a contatto (per esempio la forza esercitata da un oggetto sul tavolo e quella esercitata dal tavolo sull'oggetto).



Peso ed assenza di peso

- Tale usanza rinforza l'idea sbagliata secondo cui la forza di gravità in realtà sparisce quando l'oggetto è in caduta libera o quando è allontanato a un'apprezzabile distanza dalla Terra.



Peso ed assenza di peso



Ascensore fermo:
la biglia cade per gravità



Ascensore in caduta libera:
la biglia resta sospesa



Procedura corretta

- **Per prima cosa**, definire il «**peso**» come la forza gravitazionale che agisce sull'oggetto.
- Successivamente occorre far capire agli studenti che non avvertiamo o sentiamo la forza gravitazionale stessa; noi postuliamo la sua esistenza sulla base dell'osservazione dell'accelerazione in caduta libera e della definizione di «forza» come qualcosa che imprime un'accelerazione.
 - Quando ci lasciamo cadere da qualche punto sopraelevato, non sentiamo che qualcosa ci tira giù mentre scendiamo.
- **In secondo luogo** si portano gli studenti a riconoscere che ciò che in realtà avvertiamo o sentiamo è la forza perpendicolare esercitata su di noi dall'oggetto su cui stiamo o su cui sediamo.
 - Questa forza è numericamente uguale al nostro peso solo se nessuno è seduto sulle nostre spalle o sta tentando di sollevarci, e solo se noi non siamo accelerati verso l'alto o verso il basso.



Procedura corretta

- **In terzo luogo** si esplora cosa accade al valore letto sulla scala della bilancia mentre noi acceleriamo verso l'alto o verso il basso (per esempio in un ascensore).
 - Si avverte una forza verso l'alto più intensa di quella che sentono di solito se l'accelerazione è verso l'alto;
 - Si avverte una forza verso l'alto minore di quella avvertita normalmente se l'accelerazione è verso il basso.
- **Caso limite:** che cosa accade alla forza verso l'alto esercitata su di noi dal piano della bilancia quando l'accelerazione verso il basso è sempre più vicina a quella della caduta libera?
 - Risulta subito chiaro che la forza che agisce su di noi verso l'alto, e il valore letto sulla scala, vanno a zero.



La terminologia

- Quando siamo in caduta libera, la forza gravitazionale esercitata dalla Terra su di noi non si è annullata.
 - Quella che si è ridotta a zero è la forza perpendicolare che agisce sui nostri piedi: la forza che avvertiamo direttamente.
- In questi casi noi proviamo una strana impressione, che potrebbe essere chiamata «**sensazione di assenza di peso**».
- Da qui nasce la terminologia imprecisa in cui il termine «**assenza di peso**» viene usato per descrivere ciò che accade in un ascensore in caduta libera o in un satellite.
- Dobbiamo comprenderne l'uso poco chiaro, e non interpretare le parole come se significassero, in senso letterale, che le forze gravitazionali sono sparite.



Assenza di gravità per gli aspiranti astronauti?

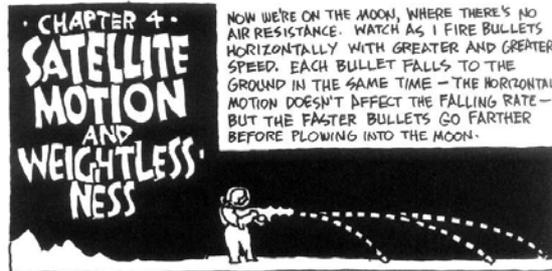


Assenza di gravità per gli aspiranti astronauti?

- Più che di **assenza di gravità**, bisognerebbe parlare di **assenza della forza peso**.
- Le navette spaziali (Shuttle) o le stazioni permanenti (MIR, ISS) sono generalmente situate a un'altezza di circa 300-400 km sopra la superficie terrestre, dove orbitano a una velocità di circa 28 000 km/h seguendo un moto di tipo circolare.
 - Su un sistema in moto circolare agisce sempre una forza (chiamata forza centripeta) F_c diretta verso il centro della traiettoria percorsa e proporzionale al quadrato della velocità.
 - In un moto circolare la direzione della velocità cambia infatti di istante in istante (anche se la velocità è costante) e non si può quindi parlare di moto uniforme.

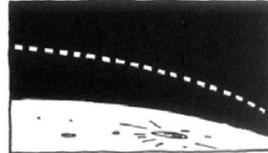
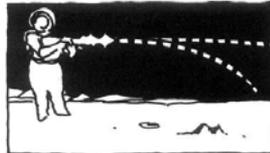


Assenza di gravità per gli aspiranti astronauti?



THE GUN IS 4 FEET OFF THE GROUND. ON EARTH, THE BULLET FALLS IN $\frac{1}{2}$ SEC., BUT HERE, WHERE GRAVITY IS WEAKER, IT TAKES 1.2 SEC. (AS LONG AS THE GROUND IS LEVEL).

BUT AS THE BULLETS GO FARTHER, SOMETHING NEW HAPPENS: THE MOON ISN'T FLAT, IT'S ROUND!! THE GROUND STARTS CURVING DOWN UNDER THE BULLET AND AWAY FROM IT.

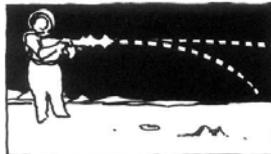


Didattica della Fisica mod.1 (TFA) - Prof. Nicola Cavallo

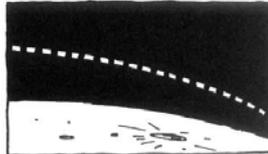
27

Assenza di gravità per gli aspiranti astronauti?

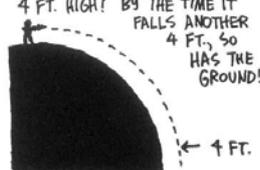
THE GUN IS 4 FEET OFF THE GROUND. ON EARTH, THE BULLET FALLS IN $\frac{1}{2}$ SEC., BUT HERE, WHERE GRAVITY IS WEAKER, IT TAKES 1.2 SEC. (AS LONG AS THE GROUND IS LEVEL).



BUT AS THE BULLETS GO FARTHER, SOMETHING NEW HAPPENS: THE MOON ISN'T FLAT, IT'S ROUND!! THE GROUND STARTS CURVING DOWN UNDER THE BULLET AND AWAY FROM IT.



EVENTUALLY, AS I FIRE FASTER AND FASTER, BY THE TIME THE BULLET HAS FALLEN 4 FT. DOWN AND THE BULLET IS STILL 4 FT. HIGH! BY THE TIME IT FALLS ANOTHER 4 FT., SO HAS THE GROUND!



THE BULLET IS NOW IN A 4-FOOT-HIGH ORBIT AROUND THE MOON. IT IS FALLING CONTINUALLY, BUT THE GROUND IS STEADILY CURVING AWAY BENEATH IT.



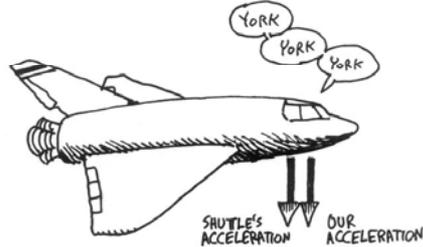
Didattica della Fisica mod.1 (TFA) - Prof. Nicola Cavallo

28

Assenza di gravità per gli aspiranti astronauti?



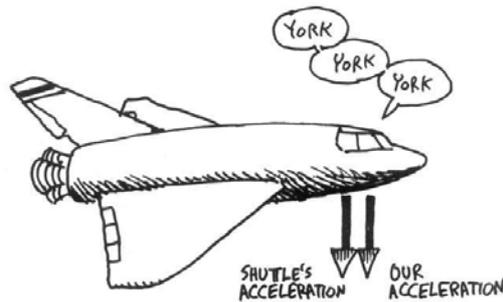
BUT THE SAME IS TRUE OF THE SHUTTLE ITSELF. IT'S ALSO FALLING, AND WITH THE SAME ACCELERATION



Didattica della Fisica mod.1 (TFA) - Prof. Nicola Cavallo

29

Assenza di gravità per gli aspiranti astronauti?



SO THERE IS NO NO RELATIVE MOTION BETWEEN US AND THE SHIP, AND WE FLOAT FREELY INSIDE, WEIGHTLESS !!



Didattica della Fisica mod.1 (TFA) - Prof. Nicola Cavallo

30

Assenza di gravità per gli aspiranti astronauti?



WHENEVER THE ONLY FORCE ON THE CRAFT IS GRAVITY, WHETHER IT'S COASTING UP, FALLING DOWN, OR IN ORBIT, OBJECTS INSIDE ARE **WEIGHTLESS**.



Assenza di gravità per gli aspiranti astronauti?



THUS, ALTHOUGH GRAVITY PRODUCES ACCELERATION, NO **ACCELERATION FORCES** ARE FELT WITHIN THE FALLING SYSTEM.

THIS WAS ANOTHER HINT TO EINSTEIN THAT GRAVITY IS A PROPERTY OF SPACE, RATHER THAN OBJECTS.

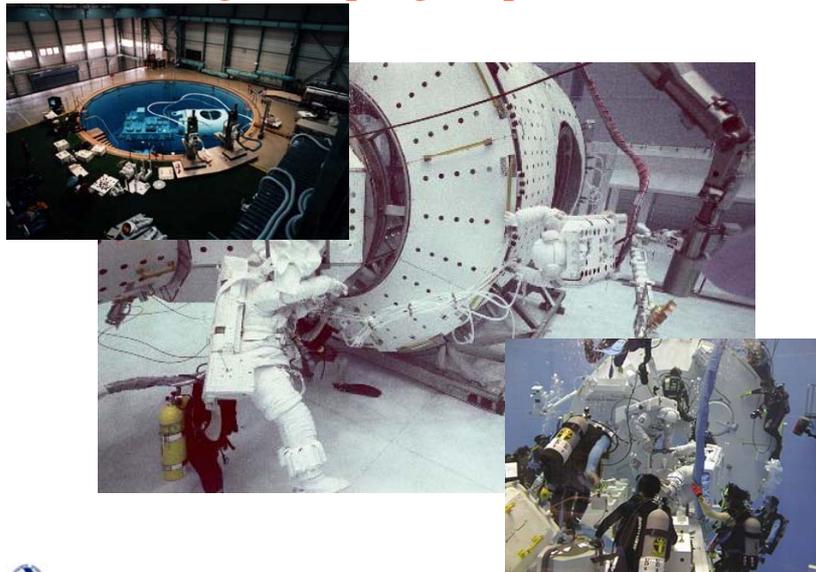


Assenza di gravità per gli aspiranti astronauti?

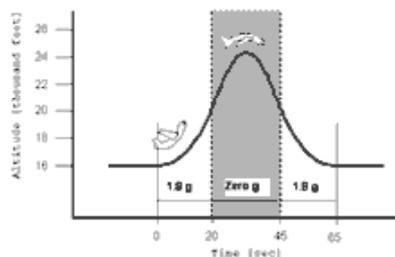
- Preparazione degli astronauti alle missioni nei simulatori.
- Come “eliminare” la forza peso?
 - Si può sfruttare il principio di Archimede e cioè che ogni corpo immerso in un liquido subisce una forza verso l'alto equivalente al peso del liquido spostato.
 - Sott'acqua si è più leggeri e in certi particolari liquidi la spinta verso l'alto di Archimede compensa la forza peso.



Assenza di gravità per gli aspiranti astronauti?



Assenza di gravità per gli aspiranti astronauti?



Didattica della Fisica mod.1 (TFA) - Prof. Nicola Cavallo

36

È possibile annullare la gravità «naturale»

- Allontanandoci dalla superficie terrestre, la gravità decresce in modo inversamente proporzionale al quadrato della distanza.
- Utilizzando questa legge e misurando la variazione della gravità, si può stabilire se la forza a cui si è soggetti è la «*gravità terrestre*» o una «*gravità artificiale*».
- Su una *stazione spaziale*, per esempio, è possibile simulare La gravità terrestre con la rotazione. Stando sul pavimento della stazione spaziale si avvertirebbe una forza originata dalla rotazione e, andando verso il centro della stazione spaziale, si sentirebbe la forza di gravità decrescere in modo lineare.
- Su una *navicella spaziale*, invece, si può simulare La gravità con una accelerazione costante che uguagli «g», l'accelerazione di gravità sulla superficie della Terra. In questo caso, l'accelerazione sarà costante lungo tutta la navicella.



Didattica della Fisica mod.1 (TFA) - Prof. Nicola Cavallo

37

È possibile annullare la gravità «naturale»



È possibile annullare la gravità «naturale»

- Quindi, per distinguere se la forza che si sente è la gravità terrestre o una «gravità artificiale» si possono usare queste regole:
 - se la gravità varia in modo inversamente proporzionale al quadrato della distanza, si è sulla Terra [o su un altro pianeta];
 - se la gravità non mostra variazioni con l'altezza, si è a bordo di una navicella con accelerazione costante;
 - se la gravità mostra una variazione inversamente proporzionale alla distanza, si è a bordo di una stazione spaziale che è in rotazione.



Vediamo le cose dal punto di vista della didattica della disciplina



Partiamo dalle cose semplici di ogni giorno

- La storia della scienza ci insegna che la complessità dei fenomeni del mondo naturale si riflette in una difficoltà nella ricerca di spiegazioni.
- Il metodo di analizzare la complessità in termini di elementi parziali "semplici" ha avuto successo nella costruzione della "scienza" quale oggi la definiamo e che viene presentata dagli insegnanti e dai manuali come un corpo di conoscenze strutturato secondo regole che troppo spesso sono date per intuitive.
- Il modo in cui i fenomeni considerati simili o diversi non è affatto intuitivo ed è stato frutto di innumerevoli tentativi ed errori.



Partiamo dalle cose semplici di ogni giorno

- I fenomeni che la scienza oggi considera come appartenenti ad una stessa classe o a classi differenti sono talmente intrecciati nell'esperienza comune che una metodologia di analisi, se non opportunamente guidata, può condurre a conclusioni radicalmente diverse da quelle della scienza odierna, soprattutto se usate da una mente intelligente e creativa ma libera da pregiudizi.



Partiamo dalle cose semplici di ogni giorno

- Si possono pertanto dare spiegazioni dei fatti e fenomeni della vita quotidiana a partire da schemi di "**conoscenza comune**" intendendo con ciò organizzazioni di conoscenze che, pur potendo differire anche sostanzialmente dalle teorie o modelli oggi riconosciuti validi dalla comunità scientifica (di norma i soli a meritare la denominazione "scientifico") presentano da un lato una consistenza delle ipotesi invocate per dare una spiegazione con la fenomenologia osservata e osservabile e dall'altro una coerenza logica fra le varie nozioni che permette una capacità di previsione seppur di ampiezza limitata.



Partiamo dalle cose semplici di ogni giorno

- In questa ipotesi di schemi di conoscenza comune "scientifici" acquistano particolare significato per la costruzione di spiegazioni
 - i fenomeni che si presentano nella vita quotidiana
 - più che i concetti attraverso i quali viene presentata nei manuali la spiegazione scientifica oggi accettata.



Il fenomeno della caduta

- N. Grimellini Tomasini e G. Segrè hanno deciso di raggruppare nel tema "il fenomeno della caduta" i risultati di alcune ricerche sulla comprensione
 - della forza di gravità,
 - della forma della Terra, e
 - della atmosfera
- per porre in evidenza le correlazioni tra tali concetti dettate dalla fenomenologia della vita quotidiana.
- Nell'esperienza comune, di cui tentiamo di dare un quadro sintetico nel primo paragrafo, il movimento in verticale, la caduta, sembra avere caratteristiche peculiari rispetto ad altri tipi di movimento e fornisce un esempio della separatezza dei fenomeni che vengono uniti nella spiegazione scientifica.



Contesto dell'aria

- Sulla Terra, in qualsiasi luogo, la maggior parte degli oggetti e degli esseri viventi cade verso il basso in mancanza di sostegno.



- La caduta avviene naturalmente in presenza dell'atmosfera di aria che circonda la Terra.
- Spesso si tende a “dimenticare” l'aria
- Nel linguaggio comune infatti uno spazio pieno di aria è chiamato **spazio vuoto** in quanto vi si possono sistemare oggetti e vi si può entrare e muoversi senza difficoltà.
- Es: “cibi sotto vuoto” ovvero cose strettamente impaccate in modo da non lasciare spazio disponibile.



Può esistere “Spazio” senza nulla ?

- “*Può esistere uno spazio che sia solo spazio senza niente, nemmeno aria dentro?*” è il classico esempio di una domanda che NON CI PONIAMO.
- Nella vita quotidiana questo spazio non esiste.
- Lo spazio può essere solo occupato se non da aria da oggetti solidi a da liquidi.
- I solidi al più possono essere deformati dall'appoggiarvi sopra un altro oggetto solido.
- Nei liquidi osserviamo che alcuni oggetti galleggiano e altri vanno a fondo.



Il “cadere”

- Possiamo aggiungere dettagli a questa fenomenologia quali quelli che è meglio appoggiare su basi larghe per stare in equilibrio, o che l'equilibrio del nostro corpo è con la testa in alto e i piedi in basso.
- Su questa esperienza si innestano frasi quali:
 - «**attento a non cadere**» che può significare
 - sia «stai attento a non inciampare»
 - sia «non ti buttare dalla finestra».
- Ci si può far male in ambedue i casi, ma sono due diversi modi di cadere.



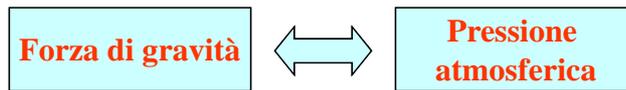
Rapporto tra “premere” e “aria”

- L'espressione **pressione atmosferica** (termine, anche questo, ormai usato nel linguaggio comune) stabilisce un legame tra l'azione espressa dal verbo "**premere**" e l'impalpabile sostanza, l'"**aria**", che costituisce l'atmosfera.
- Il **premere** dell'esperienza quotidiana è invece legato a un'azione del tipo esercitare una forza, normalmente percepibile in sensazioni di sforzo o fatica.
- La **gravità** di cui a volte si sente parlare è in un certo senso altrettanto impercibile dell'aria ed è spesso legata alla parola forza pur essendo ben diversa dalle forze delle esperienze concrete.



“Pressione atmosferica” e “gravità”

- Questa ambiguità di linguaggio può suggerire una identificazione tra la forza di gravità e la pressione atmosferica.



- Le avventure spaziali, i cartoni animati e le scene dei film fantascientifici aumentano la confusione linguistica in quanto nominano spesso uno spazio "vuoto" che esiste lontano dalla Terra, diverso dal nostro spazio abituale pieno di aria.
- Tale spazio interplanetario ha la caratteristica, oltre a quella di essere vuoto, di non avere nemmeno gravità.

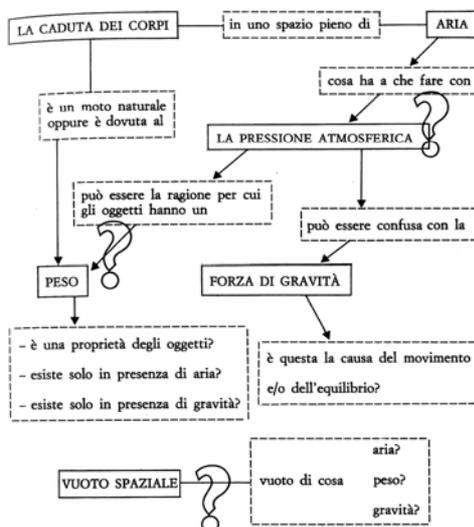


Terminologia

- Vediamo quindi che parole usate nel linguaggio quotidiano come
 - **peso,**
 - **pressione atmosferica,**
 - **gravità,**
 - **vuoto**
- si trovano intrecciate nella possibilità di fornire spiegazioni al fenomeno della caduta degli oggetti verso il suolo terrestre.



Possibili relazioni

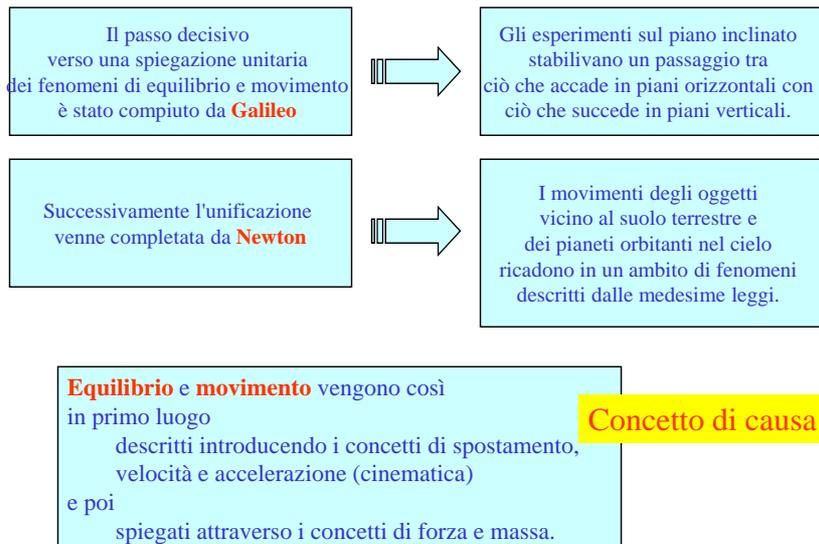


Schema grafico delle possibilità di relazioni a partire dall'esperienza comune.

- I fenomeni e i concetti da porre in relazione sono racchiusi da linee continue,
- le relazioni tra di essi da linee spezzate e
- la loro problematicità è messa in evidenza dai punti interrogativi.



Spiegazione scientifica classica



I tre Principi della Dinamica

- **Primo Principio (Principio d'Inerzia)**
 - Se non agisce alcuna forza, oppure agiscono più forze che si fanno equilibrio, ogni corpo in quiete rimane in quiete ed ogni corpo in moto continua a muoversi di moto rettilineo uniforme
- **Secondo Principio**
 - Ogni forza, misurata staticamente, applicata a un corpo libero di muoversi, determina in questo un'accelerazione, nella direzione e verso della forza, direttamente proporzionale all'intensità della forza stessa.
- **Terzo Principio**
 - Ad ogni azione corrisponde un'azione uguale e contraria



I tre Principi della Dinamica

- I tre principi della dinamica sono in grado di
 - spiegare completamente la dinamica (e la statica come caso particolare) di un punto materiale (oggetto puntiforme - privo di estensione spaziale e dotato di massa) e
 - permettono di dedurre le leggi valide per i sistemi di punti e i corpi estesi.



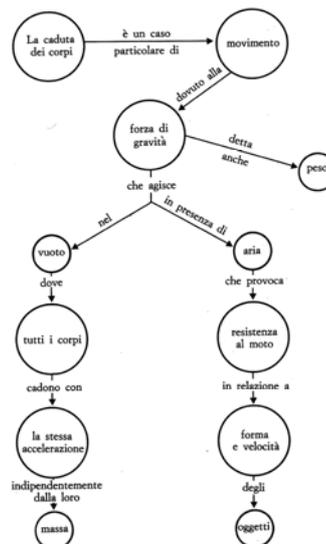
Attrazione gravitazionale

- La caduta di un oggetto verso la superficie di un pianeta è un caso particolare di movimento dovuto alla attrazione gravitazionale tra due oggetti di massa m ed M quando uno dei due oggetti sia di massa ed estensione spaziale minore rispetto a quelle del secondo e il fenomeno sia visto da un osservatore solidale con l'oggetto di massa ed estensione spaziale maggiore. La forza con cui l'oggetto di massa piccola è attratto verso l'oggetto grande, detta **forza di gravità** o **forza peso**, può essere espressa dalla formula:

$$\vec{f} = K \frac{mM}{r^3} \vec{r} = m\vec{g}$$



Schema scientifico newtoniano del fenomeno della caduta.



Da "azione a distanza" a "campo di forza"

$$\vec{f} = K \frac{mM}{r^3} \vec{r} = m\vec{g}$$

- Questa formula "funziona" bene ai tempi di Newton come ai tempi nostri!
- Tuttavia c'è da fare una puntualizzazione doverosa. La gravitazione universale era concepita da Newton come una "**azione a distanza**". Questo significa che non c'era nessun meccanismo di trasmissione di questa forza; ciò purtroppo causa alcuni problemi alla teoria.
- Le successive formulazioni matematiche di questo concetto lo hanno trasformato in "**campo di forza**". In questo contesto possiamo formulare la legge di Newton dicendo che ogni corpo dotato di massa modifica le proprietà dello spazio circostante, producendo nello spazio stesso un campo di forza, di cui esso stesso è sorgente.



Concetto di campo

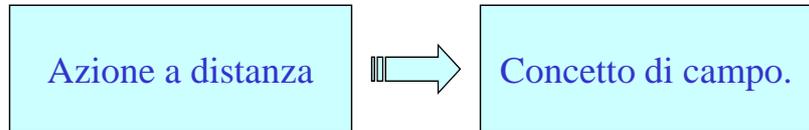
$$\vec{f} = K \frac{mM}{r^3} \vec{r} = m\vec{g}$$

$$\vec{g} = KmM \frac{\vec{r}}{r^3}$$

- Rappresenta il campo di gravità rappresenta il campo di gravità del corpo di massa M nello spazio esterno che lo circonda.



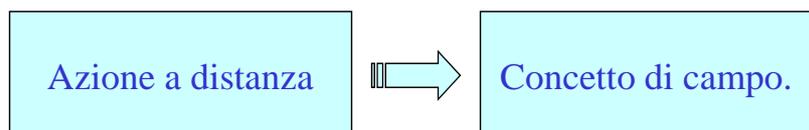
Concetto di Campo



- Si può osservare questo campo solo introducendo una massa di prova in un dato punto dello spazio, misurando poi gli effetti cui esso è soggetto.
- All'inizio l'introduzione di questo campo era solo un artificio matematico usato per non cadere nelle contraddizioni dell'azione a distanza; solo in un secondo tempo si scoprì che il campo gravitazionale era una proprietà reale dello spazio-tempo.



Pervasività del campo



- Tale **campo** esiste intorno a ogni pianeta indipendentemente dalla presenza di un'atmosfera gassosa: gli oggetti sulla Terra peserebbero e cadrebbero anche in assenza di aria.



Effetto dell'aria

Azione a distanza



Concetto di campo.

- L'**aria** interviene nella spiegazione dei fenomeni di movimento in generale e della caduta in particolare in quanto può produrre un rallentamento del movimento anch'esso spiegato attraverso una forza, la resistenza dell'aria, dovuta all'attrito fra il corpo in movimento e l'aria stessa e che dipende pertanto dalla forma dei corpi.
- A basse velocità la resistenza dell'aria è in genere trascurabile nei confronti della forza peso, come pure è di solito trascurabile la forza di Archimede dovuta all'aria. Tuttavia è proprio alla resistenza dell'aria che deve essere attribuita la differenza nel tempo di caduta di oggetti diversi: nel vuoto tutti gli oggetti cadono allo stesso modo. Nel caso di cadute su traiettorie lunghe e/o in fluidi più densi dell'aria l'effetto dell'attrito provoca un rallentamento del moto tale che, dopo una fase iniziale di accelerazione l'oggetto raggiunge una velocità limite.



- Nota, attraverso g , la forza di attrazione su un corpo di massa m , la relazione che lega forza e accelerazione:

$$\vec{f} = m\vec{a}$$

- permette di descrivere i movimenti in un campo gravitazionale di oggetti che possano essere considerati puntiformi.

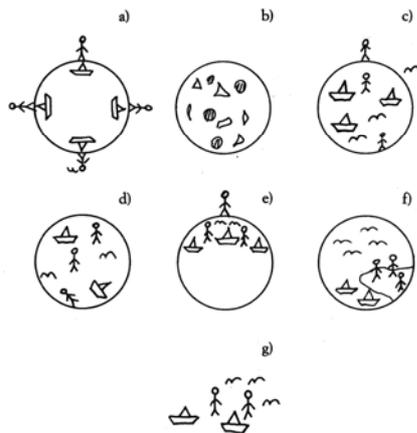


Ricerche sul fenomeno della Caduta

- Vediamo come (Matilde Vicentini) riporta alcuni degli strumenti che sono stati usati nelle varie ricerche attinenti al fenomeno della caduta per raccogliere indicazioni sulle idee delle persone riguardo
 - alla forma della Terra,
 - alla caduta e
 - alla forza di gravità.



Forma e disegno della Terra



- Una buona indicazione delle idee delle persone sulla forma della Terra e la gravità terrestre si può avere dalle risposte alla richiesta di produrre un disegno che mostri la Terra come la si vede dallo spazio
- I disegni tipo a) o b) indicano una reale comprensione della sfericità della Terra. Nel campione esaminato pochi disegni erano di questi tipi. La maggioranza dei disegni erano dei tipi c) o d) e danno da pensare per quanto riguarda la simmetria sferica della gravità. Alcuni altri disegni, dei tipi e), f) e g) suggeriscono fortemente l'idea di una Terra piatta



Quesito dell'astronauta

- È noto che se non c'è nessuna forza che equilibra il nostro peso, come nella caduta libera, il peso apparente è nullo (assenza di gravità). Come potrebbe fare un astronauta, in tale condizione, per rendersi conto della sua massa?



Quesito dell'astronauta

- Innanzitutto occorre fare una piccola ma importante precisazione: concettualmente esistono due tipi di massa (dette massa inerziale e massa gravitazionale) che soltanto nella relatività generale di Einstein vengono comprese essere due aspetti diversi della stessa cosa.
- La **massa gravitazionale** è quella che la bilancia calcola quando "pesiamo" qualcosa, ossia misuriamo la forza con cui essa è attratta dalla terra. Possiamo risalire alla massa sapendo l'accelerazione di gravità.

$$m = \frac{P}{G}$$

- La **massa inerziale**, invece, è quella che indica la forza necessaria per accelerare un corpo (per esempio facendolo muovere quando prima era fermo: tipico esempio, un'automobile). La misura di questa massa è un po' più difficile, perchè oltre alla forza bisogna misurare anche l'accelerazione.

$$m = \frac{F}{a}$$



Quesito dell'astronauta

- Nella situazione di caduta libera la forza peso è apparentemente nulla, quindi non è possibile misurare la massa gravitazionale tramite la misura di peso effettuata con una bilancia.
- D'altra parte la massa inerziale continua a far sentire i suoi effetti e se un'astronauta vuole accelerare (per esempio partendo da fermo) deve esercitare una forza. Tale forza potrebbe essere misurata per risalire alla suddetta massa inerziale. Ovviamente avrà i problemi di cui sopra dovendo misurare anche la sua accelerazione.
- Se invece si vuole misurare proprio la massa gravitazionale, bisognerebbe ricorrere ad una misura diretta dell'attrazione fra due corpi dotati di massa, per esempio tramite una bilancia di Cavendish. Dal punto di vista tecnico, comunque, questo tipo di misura è certamente troppo laborioso per essere effettuato su un veicolo spaziale.



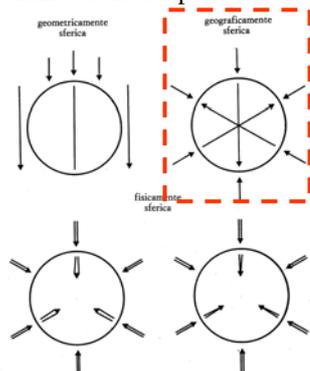
Risposte alternative (1)

- Alcuni adulti rifiutano di rispondere perché «il buco non può essere fatto». Sostanzialmente si rifiuta un esperimento pensato.



Risposte alternative (2)

- Il sasso (la palla) esce dal foro proseguendo nella traiettoria iniziale fino a perdersi nello spazio. Prevalde l'idea che esista un "basso assoluto".
- La Terra è "geograficamente sferica" in quanto è considerata di forma sferica solo dal punto di vista topologico o geografico.



Totale intervistati	1. Non classificati	2. Terra geograficamente sferica	3. Terra geometricamente sferica	4. Terra fisicamente sferica	
studenti di scuola media	76	0	31	30	15
insegnanti elementari	49	15	4	10	20
studenti Psicologia	77	6	15	19	37
studenti Biologia	63	1	0	7	55
studenti Fisica	154	6	2	9	137

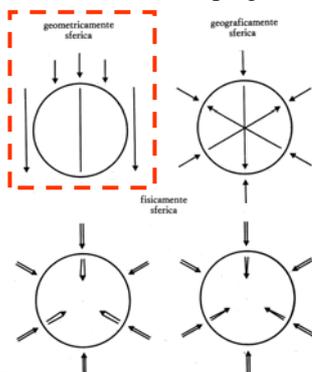


Didattica della Fisica mod.1 (TFA) - Prof. Nicola Cavallo

76

Risposte alternative (3)

- Il sasso (la palla) si arresta all'uscita del foro. È chiara la simmetria sferica nello spazio esterno al pianeta, ma permane un basso assoluto nello spazio interno. La Terra è "geometricamente sferica" in quanto le proprietà geometriche di una sfera sono considerate per affermare la simmetria del campo gravitazionale nello spazio esterno alla Terra.



Totale intervistati	1. Non classificati	2. Terra geograficamente sferica	3. Terra geometricamente sferica	4. Terra fisicamente sferica	
studenti di scuola media	76	0	31	30	15
insegnanti elementari	49	15	4	10	20
studenti Psicologia	77	6	15	19	37
studenti Biologia	63	1	0	7	55
studenti Fisica	154	6	2	9	137



Didattica della Fisica mod.1 (TFA) - Prof. Nicola Cavallo

77

Risposte alternative (4)

- Il sasso (la palla) si arresta al centro. La Terra è "fisicamente sferica" in quanto si tiene correttamente conto della simmetria sferica del campo gravitazionale.
- Si possono tuttavia addurre due tipi di giustificazione.
 - Nel primo il centro della Terra è visto come il punto di massima attrazione. A volte questa risposta viene data come conseguenza della applicazione della formula

$$\vec{f} = K \frac{mM}{r^2}$$

in cui si manda a zero il raggio mantenendo costante la massa del corpo attraente.

- Nel secondo il centro della Terra è visto correttamente come il punto di equilibrio o centro di simmetria, ma non si tiene conto dell'inerzia.



Le chiavi dell'astronauta

- "Gli oggetti cadono solo nell'atmosfera che circonda la Terra?"
- Con il progredire delle imprese spaziali, comprese le immagini disponibili in TV, la domanda ha oggi una valenza differente rispetto agli anni '60-'80.
- L'analisi delle risposte mostra la tendenza a credere in una non-caduta fuori dall'atmosfera terrestre.
- Tale credenza è largamente diffusa anche a livello adulto.



Testo della domanda

- A un astronauta, uscito sulla superficie lunare dalla nave spaziale, sfugge di mano una chiave inglese.
- Che succede alla chiave?
- Giustifica la tua risposta.

Risposta corretta:

- La chiave cade per la gravità lunare, perché attirata dalla massa lunare.



Campione investigato

- Il test è stato presentato a studenti e adulti così suddivisi:
 - 88 studenti di scuola elementare
 - 40 studenti di scuola media
 - 73 studenti del ginnasio e del liceo classico
 - 151 studenti del liceo scientifico
 - 64 studenti del I anno di Biologia
 - 53 insegnanti elementari
 - 21 adulti vari.
- Le risposte corrette sono state date:
 - da nessun bambino di scuola elementare;
 - dal 5% degli studenti delle medie; dall'11% del liceo classico;
 - dal 21% di quelli del liceo scientifico;
 - dal 34% degli studenti di Biologia;
 - dal 23% e dal 24% rispettivamente degli insegnanti e degli adulti.



Risposte alternative

- Essenzialmente sono risposte che affermano il galleggiamento della chiave con diversi tipi di giustificazione quali:
 - «Perché così è sulla Luna, lo hanno detto gli astronauti»
 - «Perché la forza di gravità della Terra la tira in su mentre il peso la tira giù»
 - «Perché sulla Luna non c'è la forza di gravità»
 - «Perché sulla Luna non c'è aria».

Gravità quindi Peso	→	la chiave non cade: manca aria <i>quindi</i> gravità
Gravità e Peso	→	la chiave non cade: mancano aria <i>e</i> gravità
a fenomeni indipendenti	→	la chiave cade per "moto naturale" o galleggia perché è lo "stato naturale" dei corpi sulla Luna
newtoniano	→	la chiave cade per la gravità lunare



La bilancia nel vuoto

- Nell'esperienza comune, come abbiamo indicato, le cose cadono sempre in presenza di aria. Si potrebbe quindi pensare che l'aria sia necessaria per la caduta.
- Dalla domanda che segue si possono trarre indicazioni sul possibile legame aria-gravità
- *“In un recipiente di vetro, collegato con una pompa a vuoto, si trova una bilancia, fissata al fondo del recipiente. Sul piatto della bilancia poggia un sasso.*
 - a) *Sapresti dire cosa fa l'ago della bilancia quando, avviata la pompa, si toglie tutta l'aria del recipiente?*
 - b) *Se, dopo aver tolto l'aria, si capovolge il recipiente (la bilancia è fissata a esso), che cosa accade al sasso, e perché?”*



Risposta corretta

- La bilancia funziona anche sotto vuoto:
 - l'ago della bilancia resta fermo perché il peso del sasso rimane invariato;
 - il sasso cade perché attirato dalla gravità terrestre.



Campione investigato

- La domanda è stata posta a
 - 40 studenti di terza media
 - 73 studenti del liceo classico
 - 151 studenti del liceo scientifico
 - 64 studenti del I anno del corso di laurea in Biologia
 - 53 insegnanti elementari
 - 21 adulti non esperti di fisica.
- La percentuale delle risposte corrette
 - non supera il 35% per gli studenti di scuola secondaria e
 - il 60% degli studenti universitari e degli adulti.



Risposte alternative

- Per la domanda a) si possono avere risposte del tipo:
 - «L'ago va a zero perché la bilancia sotto vuoto non funziona»
 - «L'ago va a zero perché sotto vuoto non c'è più peso»
 - «La posizione dell'ago si sposta indicando peso minore perché l'aria non preme sul piatto della bilancia»
 - «La posizione dell'ago si sposta indicando peso maggiore perché il piatto viene "succhiato" dal tiraggio della pompa».
- Per la domanda b) si possono avere risposte del tipo:
 - «Il sasso fluttua nello spazio del recipiente; nel vuoto non c'è gravità»
 - «Il sasso rimane attaccato al piatto, nel vuoto non si cade».

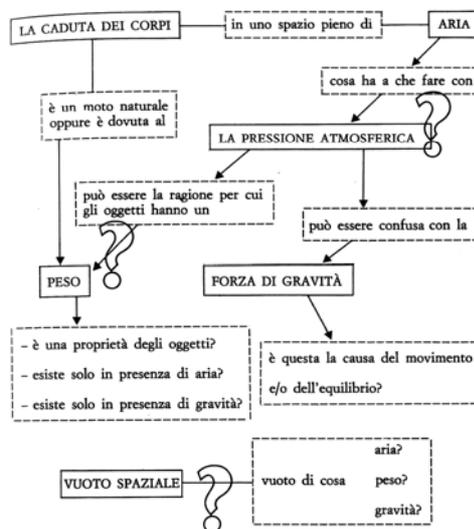


Definizione di “forza di gravità”

- La domanda specifica «che cos'è la forza di gravità» è stata posta a 84 bambini di una scuola elementare di Roma ancora sprovvisti di definizioni di tipo nozionistico. Solo quattro bambini non hanno fornito alcuna definizione. Le ottanta risposte hanno potuto essere classificate in cinque tipi:
 - «La forza di gravità è una forza propria della Terra» (38)
 - «La forza di gravità è un'aria» (36)
 - «La forza di gravità è una forza definita nei termini degli effetti che produce» (2)
 - «La forza di gravità è una forza definita dagli effetti in relazione a una causa (3)
 - «La forza di gravità è la forza del peso» (1).
- Tali risposte mentre indicano la dimestichezza dei bambini con le parole "forza di gravità" (quasi tutti sono in grado di provare a darne una definizione) mostrano che per la gran maggioranza la gravità è propria della Terra e ha le caratteristiche di impalpabilità dell'aria.



Definizione di “forza di gravità”



Le domande esposte

1. Disegno della terra
2. Buco nella Terra
3. Chiave dell'astronauta
4. Bilancia nel vuoto
5. Definizione di forza di gravità

mostrano come nella conoscenza comune si possano avere vari tipi di risposte agli interrogativi da noi indicati nella figura a lato



Definizione di “forza di gravità”

- Accoppiando le domande si possono avere indicazioni più approfondite, ad esempio
 - “Definizione di forza di gravità” + “La chiave dell'astronauta”
 - “La chiave dell'astronauta” + “la bilancia nel vuoto”



Rapporto Terra-Luna

- “Definizione di forza di gravità” + “La chiave dell'astronauta”
- Si possono raccogliere informazioni su quali siano le idee su somiglianze/differenze tra Terra e Luna:
 - per esempio una chiave che fluttua sulla Luna con una forza di gravità definita come forza propria della Terra indica che il mondo lunare è pensato come differente dal mondo terrestre rispetto alla gravità.
- La maggioranza dei bambini di scuola elementare ritiene che il galleggiamento lunare sia un fatto sperimentale riferito dagli astronauti e tale idea è rafforzata dalle trasmissioni televisive in cui si vedono gli astronauti galleggiare nella navicella.
- Ciò indica una credenza di una differenza tra Terra e Luna già a livello di fatti prima ancora che di teorie.

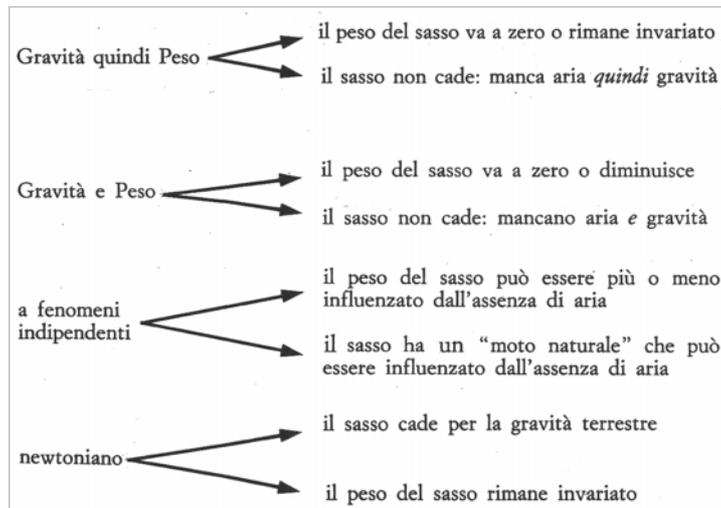


Gravità quindi Peso	→	la chiave non cade: manca aria <i>quindi</i> gravità
Gravità e Peso	→	la chiave non cade: mancano aria <i>e</i> gravità
a fenomeni indipendenti	→	la chiave cade per “moto naturale” o galleggia perché è lo “stato naturale” dei corpi sulla Luna
newtoniano	→	la chiave cade per la gravità lunare



Peso-Aria-Gravità

- “La chiave dell'astronauta” + “la bilancia nel vuoto”
 - si può stabilire quali schemi usino gli studenti per la relazione peso-aria-gravità.
- Possono essere ipotizzati schemi diversi:
 - Schema “**Gravità quindi Peso**”
 - per spiegare il fenomeno della caduta è invocata una sola causa, la forza di gravità la quale, agendo sul peso degli oggetti, ne provoca la caduta. Tale schema corrisponde allo schema scientifico quando l'aria è considerata un fattore secondario, ma può giustificare assenza di caduta in assenza di aria se, in tal caso, sparisce la forza di gravità.
 - Schema “**Gravità e Peso**”
 - considera la forza di gravità e il peso come due cause indipendenti che provocano la caduta degli oggetti. L'assenza di aria può influire sull'una o l'altra delle due cause o ambedue, e impedisce la caduta.
 - Schema “**a fenomeni indipendenti**”
 - non ritiene necessario spiegare la caduta che avviene per “moto naturale” in mancanza di sostegno. L'equilibrio e lo stare sulla Terra con i piedi sul suolo richiedono una spiegazione ed essa viene cercata nella “forza di gravità”. Il peso è considerato semplicemente come una proprietà o misura degli oggetti. L'assenza di aria può o meno modificare lo stato o moto naturale e si possono pertanto avere vari casi.



<i>livelli di scolarità</i>	<i>Gravità quindi Peso</i>	<i>Gravità e Peso</i>	<i>a fenomeni indipendenti</i>	<i>newtoniano</i>	<i>totali</i>	<i>non classificati</i>
scuola elementare	11	6	21	1	88	49
fine scuola media	13	9	16	2	40	0
inizio scuole superiori	44	20	33	4	101	0
fine scuole superiori	17	3	37	32	89	0
studenti di Biologia	13	2	27	22	64	0
insegnanti elementari	17	2	22	12	53	0
adulti vari	8	0	8	5	21	0

Nella precedente è indicata la distribuzione degli schemi a vari livelli di scolarità a partire dalla scuola elementare.



- Un esame della tabella consente di trarre le seguenti indicazioni:
 - a) non vi è differenza sostanziale tra la fine della scuola media e l'inizio della scuola secondaria rispetto allo schema scientifico corretto della gravità lunare;
 - b) ai diversi livelli della scuola secondaria permane un'alta presenza di "schemi alternativi";
 - c) a livello adulto non si nota una sostanziale diversità fra il campione degli studenti universitari e quello degli adulti non esperti;
 - d) a livello di scuola elementare l'alto numero di risposte non classificabili è dovuto alla incomprensione (e quindi mancanza di risposte) della domanda sulla caduta in un recipiente vuoto.



Foto dell'allunaggio

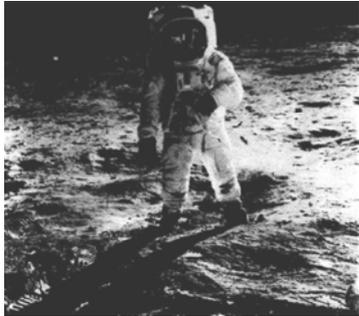
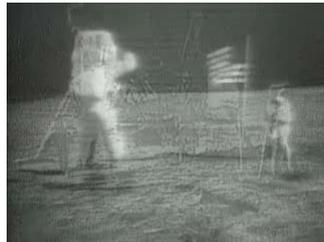
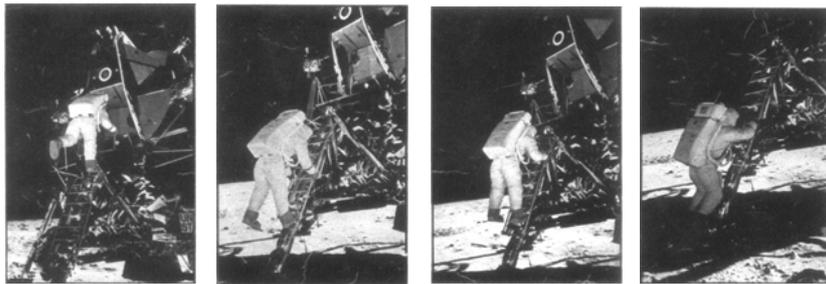


Foto dell'allunaggio



Il quesito del colibrì (1)



Didattica della Fisica mod.1 (TFA) - Prof. Nicola Cavallo

100

Il quesito del colibrì (2)

- Se metto una scatola ermeticamente chiusa con dentro un colibrì (abbastanza grande e con sufficiente aria per farlo respirare!) sopra una bilancia vedrò il peso di entrambi.
 - Se il colibrì si alza in volo e rimane sospeso senza toccare le pareti della scatola la bilancia continuerà a darmi lo stesso valore?
 - La cosa cambierebbe se fosse una gabbia?
 - E se invece di usare una bilancia appendessi la scatola ad un dinamometro?



Didattica della Fisica mod.1 (TFA) - Prof. Nicola Cavallo

101

TO MAKE THIS MORE CONCRETE, LET'S DROP A BLOCK OF IT (CONCRETE, THAT IS) FROM THIS ROOFTOP.



THIS IS MOTION WITH CONSTANT ACCELERATION g . SO VELOCITY INCREASES PROPORTIONALLY TO TIME:

$$v = g \cdot t$$

AFTER ONE SECOND OF FALLING, IT IS GOING
 $(9.8 \text{ m/s}^2) \cdot (1 \text{ s}) = 9.8 \text{ m/s}$

AFTER 2 SECONDS, ITS SPEED IS
 $(9.8 \text{ m/s}^2) (2 \text{ s}) = 19.6 \text{ m/s}$
 ETC..



HOW FAR DOES IT FALL IN TIME t ?
 APPLY OUR FORMULA

$$d = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

AFTER ONE SECOND, IT HAS FALLEN

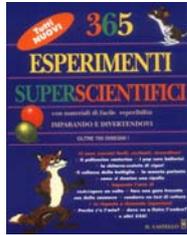
$$\frac{1}{2} (9.8 \text{ m/s}^2) \cdot (1 \text{ s})^2 = 4.9 \text{ meters}$$

AFTER 2 SECONDS, THE DISTANCE IS

$$\frac{1}{2} (9.8 \text{ m/s}^2) (2 \text{ s})^2 = 19.6 \text{ meters.}$$



t	v	d
0	0	0
0.5	4.9 m/s	1.3 m
1	9.8 m/s	4.9 m
2	19.6 m/s	19.6 m
3	29.4 m/s	44.1 m
4	39.2 m/s	78.4 m

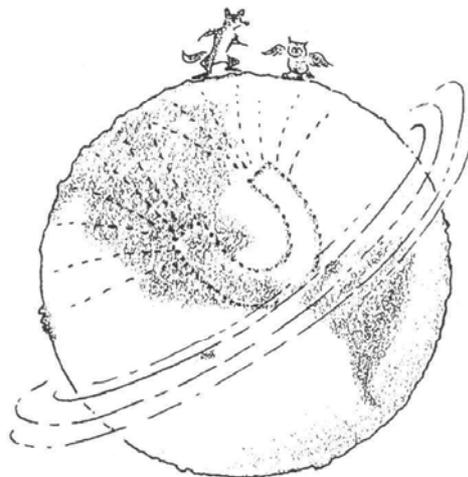
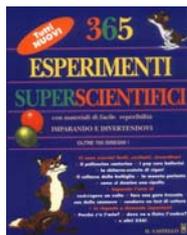


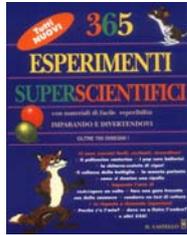
QUESTIONI DI GRAVITÀ

La gravità è la forza di attrazione che gli oggetti esercitano su quelli che stanno loro intorno. Ogni oggetto, anche il più piccolo ha una sua gravità, il che significa che cerca di attrarre gli oggetti che gli stanno vicini. Più grandi sono questi oggetti e maggiore è la loro forza di attrazione. La Terra è l'oggetto più grande che si trova nel nostro mondo e la sua forza di gravità è quella più grande che possiamo sentire su di noi.

Qualche approfondimento

Fu nel 1687 che Isacco Newton scoprì l'esistenza di una forza che chiamò di *gravità* e ne diede la prova sperimentale. La storia vuole che Newton stesse seduto beatamente sotto un albero di mele a guardare il moto della Luna, quando una mela si staccò dall'albero e lo colpì in testa. Molti, prima di Newton avevano visto le mele cadere dagli alberi, ma Newton non si limitò a vedere la mela cadere e cercare di evitarla, si chiese anche il perché... e cercò una spiegazione scientifica. Quando lanciate una palla in alto, la gravità la fa cadere al suolo. Quando siete comodamente seduti in poltrona, la gravità vi trattiene su di essa e, quando camminate, la gravità mantiene i vostri piedi per terra. Se non vi fosse la gravità saremmo costretti a fluttuare nello spazio siderale.





Sentirsi addosso la forza di gravità

66

OCCORRENTE
una sedia bassa e robusta

Non si può vedere con gli occhi la forza di gravità, ma è presente in tutto ciò che ci circonda. Ne volete una prova?

Cosa fare: mettetevi la sedia davanti a voi. Preparatevi bene e saltateci sopra. Poi giratevi e saltate giù. Avete avvertito la differenza? Fatelo ancora. Questa volta, saltando giù, chiudete gli occhi. Qual è ora la sensazione?

Cosa succede: è sicuramente più faticoso saltare sopra la sedia che saltare giù dalla sedia.

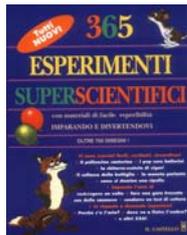


Perché: la gravità è la forza che attrae i corpi verso il centro della Terra. Quando saltate sulla sedia vi muovete in senso contrario alla sua azione. Quando saltate giù, la forza di gravità è concorde al moto; si può dire che lavora con voi. In realtà non occorre nessun sforzo muscolare, basta lasciarsi cadere.



Didattica della Fisica mod.1 (TFA) - Prof. Nicola Cavallo

110



67

Chi cade più velocemente?

Aristotele, il celebre filosofo greco (384 - 322 a. C.), era convinto che più pesante era un oggetto e più velocemente cadesse a terra. Aveva ragione?



OCCORRENTE
una palla di carta accartocciata
una scarpa
una sedia robusta

Cosa fare: salite sulla sedia e tenete in una mano la palla di carta e nell'altra la scarpa. Portate le mani più in alto che potete e lasciate cadere i due oggetti insieme.

Cosa succede: la palla leggera di carta e la scarpa pesante, arrivano sul pavimento insieme.

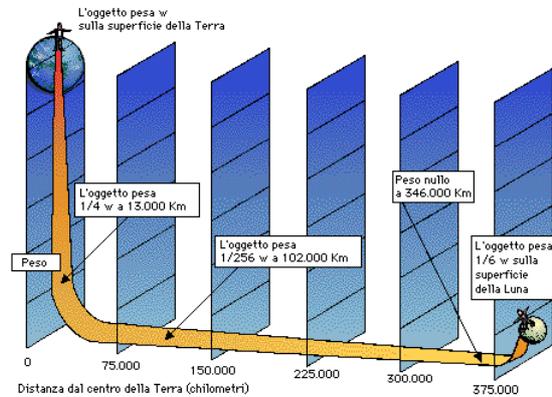
Perché: Aristotele aveva torto. Era un filosofo, non un professore di fisica. Il peso di un oggetto non ha influenza sulla velocità di caduta, che, per la sola forza di gravità, è la stessa per tutti i corpi. In realtà, ciò che fa variare la velocità di caduta (e che trasse in inganno Aristotele) è la forma dell'oggetto. Se, ad esempio la carta non fosse stata accartocciata fino a formare una palla, l'aria avrebbe esercitato sulla faccia inferiore del foglio una resistenza che avrebbe rallentato moltissimo la velocità di caduta e la scarpa sarebbe giunta a terra prima. Perché ora non prendete un altro foglio di carta e non provate direttamente? (Il primo che intuì che le idee di Aristotele non erano corrette, fu Galileo, che in proposito condusse, a Pisa attorno al 1580 i celebri esperimenti sulla caduta dei gravi e sull'isocronismo del pendolo).



Didattica della Fisica mod.1 (TFA) - Prof. Nicola Cavallo

111

Terra-Luna



- Poiché la Luna ha massa minore di quella della Terra, il peso w di un oggetto sulla sua superficie è circa $1/6$ di quello misurato sulla Terra. Questo grafico mostra come w vari in funzione della distanza dalla Terra. Esiste un punto in cui la forza con la quale la Terra attrae l'oggetto è pari a quella esercitata dalla Luna, cosicché w risulta nullo.

© Microsoft Corporation. Tutti i diritti riservati.



Schermare la gravità ?

- La gravità è la più debole fra tutte le forze conosciute, ma è quella che macroscopicamente sembra più intensa.
- Il motivo fondamentale di questo apparente paradosso, che è poi lo stesso per il quale la gravità è così importante nel nostro universo è che essa è sempre attrattiva, quindi non può essere schermata.
- Le altre forze possono essere sia attrattive che repulsive (per esempio due palline elettrizzate o due calamite possono attrarsi oppure respingersi, a seconda della loro "carica").



Schermare la gravità ?

