

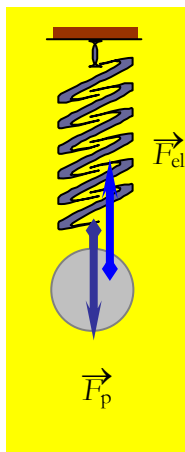
## I.6. Il peso e la massa gravitazionale

### 6.1 La forza di gravità e il peso

- ⌘ La forza di gravità e il peso
- ⌘ La caduta libera
- ⌘ La massa gravitazionale
- ⌘ La densità delle sostanze
- ⌘ Quesiti di fine capitolo



definiamo il peso senza fare della metafisica



#### 6.1.1 IL PESO: DA SENSAZIONE A GRANDEZZA FISICA

Il dibattito sul peso è antico quanto la civiltà umana. Per sostenere un corpo lasciato libero da vincoli si fa fatica e la fatica compiuta dipende da ciò che chiamiamo peso.

Sappiamo anche che sulla terra tutti i corpi cadono e che il loro moto non è influenzato dalla presenza di altri corpi. Qual è la causa di questo moto di caduta?

Non commetteremo l'errore degli aristotelici che spiegavano il peso in termini di tendenza da parte dei corpi pesanti a muoversi verso il *loro luogo naturale* con una nuova spiegazione nominalistica più moderna nella quale parole come *luogo naturale* siano sostituite da *altre parole magiche* come *forza di gravità*.

Su questo punto, *Galilei* in un periodo in cui la spiegazione della gravitazione non esiste, bacchetta l'aristotelico *Simplicio* che aveva risposto alla domanda sulle ragioni della caduta dei gravi dicendo: *la causa di quest'effetto è notissima e ciaschedun sa che è la gravità*.

Galilei replica così: *voi errate signor Simplicio, voi dovevate dire che ciascun sa ch'ella si chiama gravità. Ma io non vi domando del nome, ma dell'essenza della cosa: della quale essenza voi non sapete punto più di quello che voi sappiate dell'essenza del movente le stelle in giro*.

Atteniamoci dunque ai fenomeni e incominciamo col descrivere cosa succede.

- se sospendiamo un oggetto ad un dinamometro osserviamo che esso si abbassa e quindi, dopo aver compiuto alcune oscillazioni, si ferma. Per effetto della deformazione la molla agisce sul corpo con una forza  $\vec{F}_{el}$  diretta verticalmente verso l'alto, ma il corpo rimane in equilibrio. Ciò è possibile solo se esso è soggetto all'azione di una forza  $\vec{F}_p$ , con la stessa intensità della prima forza, ma diretta verticalmente verso il basso, verso la terra.
- se eliminiamo il vincolo che unisce il corpo al dinamometro, l'interazione tra essi sparisce. La molla riassume la forma e le dimensioni iniziali. Ma l'interazione tra il corpo e la terra rimane; *la terra continua ad attirarlo* con la forza  $\vec{F}_p$  ed esso comincia a cadere verso di essa.

Dunque un corpo in quiete tende spontaneamente a cadere verso la terra a meno che un vincolo ne blocchi o impedisca il movimento. Poiché abbiamo deciso di associare agli effetti delle forze anche la capacità di mettere in moto corpi inizialmente fermi, diremo che la terra attira i corpi con una forza detta *forza di gravità*, *forza gravitazionale*, o semplicemente, *gravità*. Essa agisce su tutti i corpi sufficientemente vicini alla terra. Se questi non cadono verso la terra vuol dire che il loro moto è vincolato dalla presenza di altri corpi: un supporto, una fune, una molla, una parete, etc.

I corpi che condizionano il moto di altri corpi sono chiamati *vincoli*. L'origine del termine è ovvia, questi corpi vincolano il moto degli altri corpi impedendone la *caduta libera*. Così, la superficie di un tavolo è un vincolo per tutti gli oggetti che giacciono su di essa; il pavimento agisce come vincolo per il tavolo, etc.

Chiamiamo *peso* la forza esercitata da un corpo soggetto alla attrazione terrestre su un vincolo che ne impedisca la caduta. Tale vincolo può esplicitarsi come compressione di un supporto orizzontale (corpi appoggiati) o deformazione di una molla o di un supporto (corpi sospesi).

Quando si esegue una misurazione di peso non si fa altro che leggere la indicazione del dinamometro e cioè la misura della la forza elastica; essa è uguale e contraria alla forza esercitata dal corpo sul vincolo, cioè alla forza peso.

### 6.1.2 IL PESO E LA FORZA DI GRAVITÀ NON SONO LA STESSA COSA

Il *peso* e la *forza di gravità* sono imparentati ma non sono la stessa cosa. Il primo ha natura operativa e viene misurato; la forza di gravità, in questa fase, ha una natura *metafisica* perché non abbiamo ancora detto come si misura e può essere compresa solo all'interno di una teoria dinamica della gravitazione che sarà svolta nei prossimi capitoli.

Per ora sappiamo solo che se essa non esistesse il corpo appeso non potrebbe essere in equilibrio visto che è soggetto alla forza elastica del dinamometro.

Il peso, oltre che essere misurabile, viene percepito anche come sensazione individuale, perché corrisponde ad una forza su un vincolo e il vincolo produce una forza uguale e contraria che tende a deformare il corpo (di qui il senso di pesantezza).

Tutti noi abbiamo sperimentato la sensazione di aumento di peso che si ha quando un ascensore parte verso l'alto e la sensazione opposta quando l'ascensore frena al termine della fase di salita.

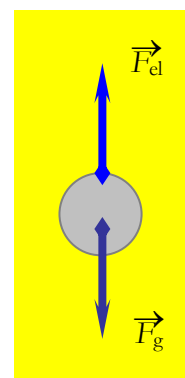
Se collocassimo sotto i nostri piedi una bilancia a molla, vedremmo che, a quella sensazione corrisponde una variazione del peso. D'altra parte saremo concordi nel ritenere che l'ascensore non presenta qualche *proprietà magica* in grado di far cambiare il peso dei corpi. In effetti, ciò che non cambia è la forza di gravità, cioè l'azione esercitata dalla terra sul nostro corpo, mentre invece *cambia il peso* (cioè la forza misurabile esercitata contro il vincolo).

Insomma il peso sembra dipendere dalla condizione sperimentale in cui si effettua la misura. Mi sto muovendo? Come mi sto muovendo? Rispetto a cosa mi sto muovendo?

*Normalmente, cioè nelle condizioni sperimentali ordinarie, il peso e la forza di gravità sono uguali ma esistono condizioni nelle quali ciò non si verifica e si parla di aumento o diminuzione del peso pur in presenza di un effetto gravitazionale costante. Ciò accade tutte le volte in cui ci si trova in un sistema di riferimento non inerziale.*

**vincolo**  
corpo che condiziona il moto obbligando a determinate traiettorie o alla quiete

**peso**  
la forza che un corpo esercita su un vincolo che a sua volta ne impedisce la caduta libera



## 6.2 La caduta libera

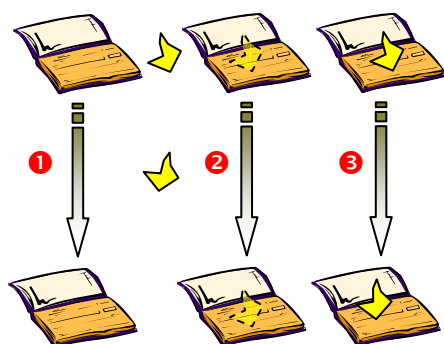
### 6.2.1 LA CADUTA LIBERA: COME CI SI ARRIVA?

Si chiama *caduta libera* il moto di un corpo soggetto alla sola forza di gravità. Per studiarla bisogna eliminare l'effetto di ogni altra forza e, in particolare, la resistenza dell'aria che tende a frenare il moto di caduta.

Verificare che la resistenza dell'aria influenza la caduta dei corpi è molto semplice. Supponiamo di lasciar cadere una pietra e un fiocco di cotone idrofilo. La pietra cade a terra rapidamente, mentre il fiocco di cotone scende più lentamente. A questo punto potremmo giungere alla conclusione errata che i corpi più pesanti cadono più rapidamente di quelli leggeri; ma se comprimiamo il fiocco di cotone in una sferetta piccola esso cadrà molto più rapidamente.

Che cambiamento abbiamo fatto? Abbiamo ridotto le dimensioni del fiocco e così abbiamo ridotto la resistenza dell'aria. Allo stesso modo un foglio di carta appallottolato fino a ridurlo a un batuffolo è soggetto ad una resistenza dell'aria molto minore e, di conseguenza, cade molto più rapidamente di un foglio di carta dello stesso peso.

Un *esperimento* di semplice esecuzione e dagli effetti sconcertanti è il seguente:



- lasciate cadere da una stessa altezza un foglietto di carta messo a fianco a un quaderno; si vedranno il quaderno e il foglio arrivare a terra in tempi molto diversi
- ripetete l'esperimento mettendo il foglio sotto il quaderno; si vedrà che i due arrivano a terra insieme ed impiegano un tempo praticamente uguale a quello impiegato dal quaderno. A questo punto il nostro *Simplicio* affermerebbe che questa è la prova del fatto che i corpi cadono con velocità proporzionale al peso; la seconda volta il quaderno (più pesante) ha spinto il foglio di carta.
- per falsificare l'ipotesi di Simplicio basta un terzo esperimento; mettetelo il foglio sopra il quaderno e fateli di nuovo cadere; ancora una volta il foglio e il quaderno arrivano insieme e nessuno potrà sostenere che il foglio (più leggero) abbia spinto il quaderno. Simplicio è servito.



*Galilei* si è servito di una argomentazione simile a questa per sostenere la assurdità della tesi di una velocità di caduta libera dipendente dal peso. Se fosse così, afferma Galilei due sfere di piombo di peso diverso cadrebbero con velocità diversa. Le due stesse sfere, unite da una cordicella costituirebbero un corpo unico e dovrebbero come corpo unico cadere con una velocità più alta mentre, contemporaneamente, la più leggera dovrebbe frenare la più pesante e pertanto il sistema dovrebbe scendere più lentamente: assurdo!

Sorge allora il problema: come cadrà un corpo nel vuoto, quando non c'è resistenza dell'aria? Più avanti vedremo che, in ogni dato punto della terra, tutti i corpi cadono con la stessa accelerazione indipendentemente dal loro peso.

Questa affermazione può oggi essere verificata sperimentalmente effettuando misure di caduta nel vuoto. Ai tempi di Galilei non esistevano però le *pompe a vuoto*; di più l'esistenza del vuoto era considerata una assurdità al punto di spiegare la tendenza dei corpi a mantenere parzial-

mente il loro moto come un effetto *dell'horror vacui*; secondo tale teoria il movimento era dovuto alla spinta dell'aria che si richiudeva dietro il corpo per impedire la formazione del vuoto.

Prendiamo un tubo di vetro della lunghezza di almeno un metro, sigillato ad un estremo e munito di un tappo con un rubinetto all'altro estremo. Il tubo contenga un pezzo di piombo ed una piuma. Se rovesciamo bruscamente il tubo il pezzo di piombo cadrà rapidamente mentre la piuma fluttuerà lentamente verso il basso. Se colleghiamo il tubo ad una pompa a vuoto e togliamo tutta l'aria vedremo che, rovesciando il tubo, i corpi cadono insieme.

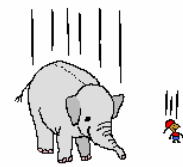
### 6.2.2 IL CONTRIBUTO DI GALILEI

Dunque, *la caduta libera di tutti i corpi avviene nello stesso modo indipendentemente dal loro peso*. Il primo scienziato che giunse a tale conclusione fu *Galilei*. Egli mostrò che quello di caduta libera è un moto uniformemente accelerato. Per dimostrare questa affermazione è sufficiente verificare che lo spazio percorso è proporzionale al quadrato del tempo di caduta. Ma Galilei non aveva strumenti in grado di misurare piccoli intervalli di tempo e perciò aggirò l'ostacolo utilizzando il *piano inclinato* che gli consentiva di studiare moti uniformemente accelerati con accelerazioni più piccole della accelerazione di gravità.

Al giorno d'oggi possiamo misurare il tempo di caduta di un oggetto da una altezza qualsiasi utilizzando un cronometro comandato elettronicamente o meglio ancora possiamo osservare la caduta ad eguali intervalli di tempo mediante la cosiddetta *fotografia stroboscopica*. La resistenza dell'aria può essere facilmente eliminata ponendo l'apparecchiatura in un tubo ed aspirando l'aria.

I risultati sperimentali consentono di affermare che:

- *la caduta libera avviene sempre secondo le leggi del moto uniformemente accelerato*
- *tutti i corpi in caduta libera sono dotati, in una stessa zona della terra, della stessa accelerazione  $g$*
- *la accelerazione di caduta libera (detta accelerazione di gravità) varia leggermente nei diversi punti della terra*. Questa differenza, che non supera mai lo 0.6%, può essere trascurata in molte applicazioni pratiche che non comportino misurazioni troppo precise e si può assumere per  $g$  il valore medio  $g = 9.806 \text{ m/s}^2$  spesso approssimato a  $9.81 \text{ m/s}^2$ .



modello di piano inclinato di Galilei: si notino i campanelli a distanze crescenti con legge quadratica; quando la sferetta scende i campanelli suonano ad eguali intervalli di tempo



## 6.3 La massa gravitazionale di un corpo

### 6.3.1 IL PESO DI UN CORPO CAMBIA CON LA POSIZIONE ... E LO STESSO ACCADE ALLA ACCELERAZIONE DI GRAVITÀ

L'esperienza mostra che il *peso di un corpo cambia leggermente con la latitudine e con l'altezza e così fa anche la accelerazione di caduta libera*. Dunque sia il peso, sia la accelerazione di gravità sembrano esprimere delle *proprietà di tipo locale* di un corpo, cioè delle proprietà che sono influenzate da qualcosa d'altro che, al momento, ci sfugge e che, per ora, non indagheremo.

Dunque il peso di un corpo è tipico del corpo ma subisce delle piccole variazioni a seconda di dove lo si misura. Il risultato è disarmante:

- il *peso* di un corpo cambia sensibilmente con le condizioni sperimentali (ascensore in frenata)
- il peso di un corpo cambia debolmente con la quota e la latitudine

La prima difficoltà può essere risolta *evitando gli ascensori* ma la seconda è più grave perché ci dice che *il peso non esprime una proprietà tipica del corpo*.

### 6.3.2 I PESI CAMBIANO, MA IN MANIERA REGOLARE: C'È SOTTO LA MASSA GRAVITAZIONALE

Eseguendo misurazioni di peso si osserva però una regolarità estremamente importante: *il rapporto tra i pesi di due corpi risulta indipendente dal punto in cui si effettua la misurazione sulla terra*.

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{P'_1}{P'_2} = \dots = \text{costante} \quad (\text{I.6.1})$$

Il fatto che il rapporto dei due pesi sia costante ci dice che tale rapporto non dipende da quel *qualcosa* che ci sfuggiva ed esprime invece una grandezza caratteristica dei due corpi. Questa caratteristica viene chiamata *massa gravitazionale* ed è definita ponendo per definizione:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{P_1}{P_2} = \text{costante} \quad (\text{I.6.2})$$

Non ci si faccia ingannare dal fatto che la definizione è stata data mediante un rapporto tra grandezze omogenee che genera un numero puro; basta prendere un particolare corpo come unità di misura e resterà definita una nuova grandezza fisica che chiameremo *massa gravitazionale* del corpo.

La massa gravitazionale condiziona il peso, ma non è il peso; *il peso cambia con la posizione, la massa no*.

Il corpo campione è un cilindretto di una lega di platino ed iridio ed è chiamato *chilogrammo-massa*. Copie del chilogrammo massa si trovano presso gli istituti metrologici di tutti i paesi e tali istituti si occupano di distribuire le masse campione (multipli e sottomultipli) e di tarare le bilance deputate ad operazioni ufficiali di pesatura.

Poiché il rapporto di due grandezze omogenee rappresenta sempre la misura dell'una rispetto all'altra *la misura della massa gravitazionale di un corpo è definita come il rapporto costante tra il peso del corpo e quello del corpo campione*. Dunque:

$$M = \frac{P}{P_c} \text{ kg} \quad (\text{I.6.3})$$

il peso cambia da punto a punto ma il rapporto dei pesi di due corpi non cambia al variare del punto di misurazione



definizione di massa gravitazionale

sfrutta il rapporto costante dei pesi per individuare una proprietà tipica dei due corpi posti a confronto

Il fatto che il rapporto delle masse sia uguale al rapporto tra i pesi eseguito in uno stesso punto fa da base alla determinazione della massa per mezzo della bilancia a braccia uguali.

Una *bilancia a braccia uguali* è in equilibrio quando il peso del corpo è pari al peso messo sull'altro piatto. Ma in quel caso *la massa del corpo è pari alla massa dei pesi equilibranti*. Dopo aver fissato una massa standard possiamo misurare la massa di qualsiasi corpo comparandola con quella dello standard attraverso una bilancia a braccia. Per questo scopo la massa campione viene suddivisa in sottomultipli e l'accostamento di multipli e sottomultipli consente di determinare la condizione di equilibrio.

### 6.3.3 QUALCHE CONSIDERAZIONE CRITICA SULLA MASSA

Il motivo per cui ancora oggi gli orafi pesano gli oggetti d'oro con bilance a braccia uguali, e non con le più comuni bilance a molla, è legato alle seguenti considerazioni.

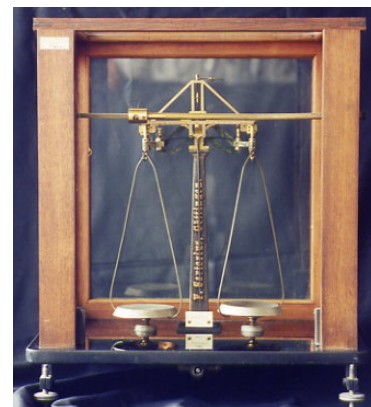
Mentre la bilancia a molla indica sempre e solo il peso di un corpo e dunque darà, per uno stesso corpo, delle indicazioni differenti a seconda dei punti in cui si effettua la misura, la bilancia a braccia uguali effettua un confronto tra pesi e dunque ci darà lo stesso risultato (la massa) dovunque si effettui la misura.

Le piccole differenze che si ottengono nei due casi diventano significative quando si operi con materiali particolarmente preziosi nei quali anche uno scarto dell'ordine del grammo può essere significativo. In effetti quando si acquista o si vende un bene non si è interessati al peso ma piuttosto al *quanto* contiene. Il peso è una proprietà che è influenzata dal *quanto*, ma non è il *quanto* che è invece descritto dalla massa gravitazionale.

La nozione di massa è una delle più importanti della fisica. Ne tratteremo molto spesso in questo libro: nello studiare le leggi della dinamica e la legge di gravitazione universale; in connessione con i concetti di quantità di moto e di energia. Ciò ci consentirà di allargare il significato della nozione di massa.

Nei prossimi capitoli incontreremo una seconda nozione di massa, la *massa inerziale* e scopriremo che due proprietà diverse della materia possono essere descritte da una unica grandezza fisica (cioè *massa gravitazionale* e *massa inerziale* saranno trattate alla stessa stregua).

Infine scopriremo che la massa non è una proprietà fondamentale della materia, che la massa si può trasformare in energia e viceversa e parleremo quindi di *massa-energia*.



## 6.4 La densità delle sostanze

### 6.4.1 DAL PESO SPECIFICO ALLA DENSITÀ

Così come il peso è un cattivo indicatore fisico delle caratteristiche di un corpo, il peso specifico, studiato sin dalle scuole elementari, è un cattivo indicatore delle proprietà ponderali di una sostanza e dovrà essere sostituito da una grandezza legata alla massa.

Corpi fatti della stessa sostanza, ma di differente volume, avranno masse diverse. L'esperienza consente però di affermare che il rapporto tra la massa e il volume di questi corpi è costante:

$$\frac{M_1}{V_1} = \frac{M_2}{V_2} = \dots = \text{costante}$$

Questa costante tipica della sostanza viene chiamata *densità*. Dunque, la densità di una sostanza è il rapporto tra la sua massa e il suo volume:

$$\rho = \frac{M}{V} \tag{I.6.4}$$

### 6.4.2 LE UNITÀ DI MISURA E I VALORI TIPICI

Come si vedrà più avanti *la densità di una sostanza dipende dalla temperatura, dalla pressione esterna e dallo stato di aggregazione*. Quindi le tabelle che riportano la densità dei diversi materiali specificano sempre le condizioni sotto cui hanno significato i valori tabulati. Senza queste precisazioni tali dati non hanno significato.

Quando si opera con materiali non omogenei il rapporto tra massa e volume non è più costante ma si potrà continuare a parlare di *densità media* e di *densità puntiforme* o di *densità locale* quando il volume considerato è infinitesimo.

La relazione (I.6.4) viene dunque generalizzata scrivendo:

$$\langle \rho \rangle = \frac{M}{V} \quad \rho = \frac{\delta M}{\delta V} \tag{I.6.5}$$



La unità di misura della densità è il kg/m<sup>3</sup>. Poiché il kg/m<sup>3</sup> è una unità piuttosto grande, per evitare di dover scrivere numeri troppo piccoli per esprimere le densità di uso normale, vengono anche utilizzati al suo posto il kg/dm<sup>3</sup> e il g/cm<sup>3</sup> che sono tra loro identici.

$$1 \text{ kg/m}^3 = 10^{-3} \text{ kg/dm}^3$$

La tabella (I.6.1) contiene alcuni valori di densità per sostanze e materiali di uso comune. Mentre la densità dei liquidi e dei solidi è debolmente influenzata dalla pressione e dalla temperatura, non si può dire altrettanto per i gas che, poiché cambiano sensibilmente il loro volume al variare di pressione e temperatura cambiano conseguentemente la loro densità.

I dati della tabella 6.1 vanno fissati a memoria almeno per quanto riguarda gli ordini di grandezza delle densità di alcune sostanze tipiche e di esperienza comune (acqua, aria, metalli, ...).

### 6.4.3 QUALCHE ESERCIZIO SULLA DENSITÀ

*Esercizio:* Sapendo che la Luna ha un raggio medio  $r = 1.738 \times 10^6$  m e una massa  $m = 0.735 \times 10^{23}$  kg determinare la densità media. La densità della terra vale circa  $5.5 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup> confrontare il valore trovato con quello della Terra e avanzare qualche ipotesi giustificativa tenendo conto che la Luna è figlia della Terra.



Tabella 6.1	
Solidi	$\rho$ , kg/dm <sup>3</sup>
Alluminio	2.7
Argento	10.5
Diamante	3.5
Ferro	7.8
Ghiaccio	0.916
Grafite	1.6
Nichel	8.9
Oro	19.3
Piombo	11.3
Platino	21.5
Porcellana	2.3
Rame	8.9
Stagno	7.4
Sughero	0.20
Tungsteno	19.1
Uranio	19.0
Zinco	7.0
Liquidi	$\rho$ , kg/dm <sup>3</sup>
Acqua	1.00
Acqua di mare	1.02
Acqua pesante	1.1
Alcool	0.79
Benzene	0.88
Cherosene	0.80
Glicerina	1.26
Mercurio	13.6
Gas (cond. Stand. p, T)	$\rho$ , kg/m <sup>3</sup>
Ammoniaca	0.77
Aria	1.293
Azoto	1.25
Biossido carbonio	1.98
Cloro	3.21
Idrogeno	0.09
Metano	0.72
Ossigeno	1.43



$$V = \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{4}{3} \pi \times (1.738 \times 10^6)^3 \text{ m}^3 = 2.199 \times 10^{19} \text{ m}^3$$

$$\delta = \frac{m}{V} = \frac{0.735 \times 10^{23}}{2.199 \times 10^{19}} = 3.34 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

La densità è il 60% di quella terrestre il che lascia pensare ad una formazione avvenuta per distacco di una porzione esterna della terra quando la terra aveva già iniziato un processo di concentrazione della parte più densa verso il centro.



*Eservizio:* La densità del mercurio vale  $\delta = 1.355 \cdot 10^{-11} \text{ g}/(\mu\text{m})^3$ . Trasformala in  $\text{kg}/(\text{mm})^3$



$$\delta = 1.355 \cdot 10^{-11} \text{ g}/(\mu\text{m})^3 = 1.355 \cdot 10^{-11} \cdot 10^{-3} \text{ kg}/(10^{-3} \text{ mm})^3 = 1.355 \cdot 10^{-11} \cdot 10^{-3} \cdot 10^9 \text{ kg}/\text{mm}^3 = 1.355 \cdot 10^{-5} \text{ kg}/\text{mm}^3$$



*Eservizio:* Il protone ha dimensioni di circa  $1.2 \cdot 10^{-13} \text{ cm}$  e una massa di circa  $1.7 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ . Supponendo che abbia una forma cubica sapresti calcolarne la densità in  $\text{kg}/\text{dm}^3$ ? Scrivi due righe di commento al risultato trovato che tengano conto delle densità medie della materia che conosci.



$$\text{Calcolo } V = l^3 = (1.2 \cdot 10^{-13})^3 \text{ cm}^3 = 1.73 \cdot 10^{-39} \text{ cm}^3 = 1.73 \cdot 10^{-42} \text{ dm}^3$$

Calcolo  $\delta = m/V = \frac{1.7 \cdot 10^{-27}}{1.73 \cdot 10^{-42}} = 0.98 \cdot 10^{15} \text{ kg}/\text{dm}^3$  la materia nucleare ha una densità di un milione di miliardi più grande di quella dell'acqua.





## 6.5 Quesiti di fine capitolo

*Raccolta di quesiti a risposta aperta e chiusa relativi agli argomenti e considerazioni del testo*

Indicare la proposizione *vera*; Aristotelici e galileiani a) Secondo Galilei la causa della caduta dei gravi è la gravità b) Galilei sostiene che i corpi tendano verso il basso che corrisponde al loro *luogo naturale* c) Galilei sostiene che parlare di gravità senza spiegarne l'origine significhi fare del *nominalismo* d) Galilei dà la spiegazione della caduta dei corpi. <sup>1</sup>

1. Indicare la proposizione *falsa*; a) Chiamiamo forza gravitazionale la forza con cui la terra attira un corpo, forza il cui effetto è visibile sospendendo il corpo ad un dinamometro; b) la forza misurata da un dinamometro cui è sospeso un corpo è uguale e contraria alla forza di gravità. c) La forza di gravità agisce su tutti i corpi sufficientemente vicini alla terra. Se questi non cadono verso la terra vuol dire che il loro moto è vincolato dalla presenza di altri corpi. d) Si chiamano vincoli i corpi che agendo su altri corpi ne impediscono o condizionano la caduta dovuta alla presenza della gravità. <sup>2</sup>
2. Indicare la proposizione *vera*: a) La forza peso e la forza di gravità sono la stessa cosa. b) Il peso e la forza di gravità possono essere identificati nella maggioranza dei casi. c) Il peso può essere misurato solo mediante le bilance a molla. d) Quando si prova la sensazione di *sovrappeso* in realtà si ha a che fare con un fatto soggettivo perché il peso non cambia. <sup>3</sup>
3. Si commenti in 5 righe la citazione di Galilei in replica a Simplicio: *voi errate signor Simplicio, voi dovevate dire che ciascun sa ch'ella si chiama gravità. Ma io non vi domando del nome, ma dell'essenza della cosa: della quale essenza voi non sapete punto più di quello che voi sappiate dell'essenza del movente le stelle in giro.*
4. Si precisi, a livello di definizione, la differenza tra forza di gravità e peso. <sup>4</sup>
5. Si discuta la variabilità del peso in condizioni sperimentali diverse.
6. Indicare la proposizione *vera*: a) La caduta dei corpi in aria corrisponde alla *caduta libera*. b) Un corpo si dice in *caduta libera* se il suo moto è influenzato dalla sola forza di gravità. c) Se si lasciano cadere dei corpi macroscopici dello stesso peso in aria, si osserva che cado-

<sup>1</sup> a) Falso: è la posizione di Simplicio criticata da Galilei; b) falso: è la posizione di Aristotele; c) Vero; d) Falso, si limita ad una descrizione di tipo quantitativo, che gli consente di comprendere l'importanza del concetto di accelerazione e che lo porta a studiare le caratteristiche del m.u.a.

<sup>2</sup> a) Vero; b) Falso: è uguale e non contraria; c) Vero; d) Vero.

<sup>3</sup> a) Falso: non sono la stessa cosa dal punto di vista operativo e, in determinati contesti non hanno nemmeno lo stesso valore. b) Vero: quando ci si trova entro un sistema di riferimento inerziale i due concetti vengono a coincidere. La differenza tra peso e forza di gravità risulterà più chiara dopo il capitolo dedicato alla gravitazione. c) Falso: le bilance a braccia uguali eseguono un confronto di pesi. d) Falso: il peso cambia e la sensazione che proviamo è la indicazione del fatto che, in risposta è cambiata la reazione del vincolo.

<sup>4</sup> Prestare attenzione al fatto che, in questa fase il peso è misurabile direttamente attraverso un dinamometro mentre la forza di gravità viene inferita come causa del peso, ma non viene ulteriormente indagata.

- no tutti nello stesso tempo dalla stessa altezza. d) Un parallelepipedo impiega lo stesso tempo a cadere da una stessa altezza in aria indipendentemente dalla faccia orientata verso il basso.<sup>5</sup>
7. Indicare la proposizione *vera*; a) Per osservare che due corpi diversi e separati cadono insieme b) Galileo, pur ipotizzando che la caduta libera corrispondesse a un m.u.a. non diede mai una verifica diretta di ciò a causa della indisponibilità di orologi sufficientemente sensibili. c) Sulla terra tutti i corpi in caduta libera cadono con una stessa accelerazione d) Le variazioni di accelerazione di gravità tra un punto e l'altro della terra arrivano sino al 5 % di  $g$ .<sup>6</sup>
  8. Discutere, avanzando ipotesi, come mai un foglio di carta appoggiato sopra un libro arrivi a terra insieme al libro mentre quando viene lasciato cadere stando a fianco arriva a terra molto dopo.<sup>7</sup>
  9. Cercare di spiegare perché si possa affermare il *fatto paradossale* che il foglio di carta spinge il libro.<sup>8</sup>
  10. Indicare la proposizione *vera*: a) La accelerazione di gravità varia leggermente con la latitudine, mentre il peso che esprime una proprietà tipica di ogni corpo rimane invece costante. b) Il rapporto tra i pesi di due corpi non dipende dal punto in cui si effettua la misurazione. c) Per misurare la massa di un corpo basta misurarne il peso; d) Poiché il peso di un corpo dipende dal punto considerato e la massa si misura attraverso il peso ne consegue che la massa gravitazionale sia una cattiva grandezza fisica perché risulta soggetta a variabilità.<sup>9</sup>
  11. Indicare la proposizione *falsa*: a) La massa gravitazionale di un corpo è definita come rapporto costante tra il peso del corpo e il peso di un secondo corpo assunto come campione. b) Il rapporto tra le masse gravitazionali di due corpi è pari al rapporto dei due pesi e non dipende dalla particolare massa assunta come campione. c) La

<sup>5</sup> a) Falso: ciò vale solo in particolari condizioni sperimentali tali da poter trascurare la resistenza dell'aria. b) Vero c) Falso: ciò accade solo nel vuoto; in aria le velocità di caduta sono fortemente condizionate da peso, forma e dimensioni. d) Falso: vedi risposta precedente.

<sup>6</sup> a) Falso, si veda l'esperimento descritto nel testo; b) Vero: Galileo sostiene questa tesi attraverso una catena di ragionamenti che partono dai movimenti di salita e discesa dei pendoli e dalle esperienze sul piano inclinato. c) Falso: la accelerazione di gravità dipende seppure di poco dalla latitudine e dalla quota d) Falso: non superano mai lo 0.6 % e la spiegazione di ciò verrà data al termine del capitolo sulla gravitazione.

<sup>7</sup> L'esperimento ci costringe ad ammettere che il peso non è determinante e che dobbiamo concentrare la nostra attenzione sull'ambiente individuando nella presenza del mezzo entro cui si svolge l'esperimento la ragione dei rallentamenti che si hanno quando il foglio cade stando a fianco. Tale mezzo, quando il corpo sta sopra al libro, non esplica la sua azione perché viene allontanato. Se si allontana il mezzo i due corpi cadono insieme mentre se c'è il mezzo il libro cade più rapidamente perché l'azione frenante del mezzo dipende dalla superficie esposta ma tale azione frenante va comparata con quella accelerante dovuta al peso che è molto diverso tra libro e foglio di carta.

<sup>8</sup> Il foglio tende a cadere con accelerazione  $g$  mentre il libro, che è leggermente rallentato dal mezzo, tende a cadere con una accelerazione leggermente minore.

<sup>9</sup> a) Falso: Al variare della latitudine cambiano sia il peso, sia la accelerazione di gravità. b) Vero: su questa proprietà si basa la definizione della massa gravitazionale. c) Falso: bisogna misurare anche il peso della massa campione nello stesso punto d) Falso: la massa viene definita attraverso il rapporto dei pesi come una proprietà invariabile proprio prendendo spunto dalla invariabilità del rapporto dei pesi.

misurazione della massa gravitazionale si può eseguire anche con una bilancia a molla, ma in quel caso bisogna disporre anche della massa campione. d) Per misurare la massa con la bilancia a braccia eguali bisogna disporre del chilogrammo massa. <sup>10</sup>

12. Esiste una particolare condizione sperimentale nella quale non si riesce a definire la massa gravitazionale. Quale? <sup>11</sup>
13. Descrivere il processo logico-sperimentale che porta alla definizione di massa gravitazionale. <sup>12</sup>
14. Spiegare come mai la bilancia a braccia uguali possa prestarsi bene ad essere utilizzata per misurare le masse. <sup>13</sup>
15. Spiegare come si possa effettuare una misura di massa gravitazionale usando una bilancia a molla. <sup>14</sup>
16. Indicare la proposizione *falsa*: a) Il rapporto tra massa e volume per un dato corpo è costante solo se il corpo è omogeneo. b) Il concetto di omogeneità di un corpo può essere fondato in maniera del tutto rigorosa solo affermando che *un corpo è omogeneo se la sua densità puntiforme è costante*. c) La densità è una caratteristica invariabile di una determinata sostanza; d) A parità di densità, massa e volume sono direttamente proporzionali. <sup>15</sup>
17. Indicare la proposizione *vera*: a) L'unità di misura della densità nel S.I. è il  $\text{kg}/\text{dm}^3$  b) La densità dei gas è inferiore di circa 2 ordini di grandezza a quella dei liquidi; c) I metalli hanno una densità relativa all'acqua di circa 100; d)  $1 \text{ kg}/\text{dm}^3 = 10^{-30} \text{ ton}/\text{Å}^3$ . <sup>16</sup>

---

<sup>10</sup> a) Vero: non dimenticarsi di precisare quell'aggettivo *costante* su cui si fonda tutto il ragionamento. b) Vero: per qualsiasi grandezza fisica il rapporto di due grandezze omogenee non dipende mai dal sistema di unità di misura scelto. c) Vero: basta fare il rapporto del peso del corpo e del peso della massa campione misurati nello stesso punto. d) Falso: bisogna disporre di multipli e sottomultipli della massa campione perché bisogna disporre sui due piatti due masse (di cui una nota) esattamente dello stesso peso.

<sup>11</sup> Quando ci si trova nello *spazio libero* (cioè molto lontano da altri corpi) e non si ha percezione di effetti gravitazionali.

<sup>12</sup> a) Il peso di un corpo non è una caratteristica invariabile del corpo anche se si opera in un sistema di riferimento inerziale b) Il rapporto dei pesi di due corpi qualsiasi non cambia mentre cambia il valore del peso c) Il rapporto dei due pesi è pertanto una proprietà relazionale dei due corpi e non dipende dalla posizione o dalle condizioni sperimentali d) Se si fissa come campione un particolare corpo si può definire una nuova grandezza tipica di un corpo e definita come rapporto costante tra peso del corpo e peso del campione misurati in uno stesso punto.

<sup>13</sup> La bilancia a braccia uguali esegue una misura di peso corrispondente ad un confronto diretto con dei campioni, pertanto la uguaglianza di pesi che si realizza è già anche una uguaglianza di masse. Questo ragionamento va preso con un po' di cautela perché, in presenza di aria, i corpi risentono di una spinta di galleggiamento che dipende dalle loro dimensioni e pertanto bilancia in equilibrio non significa, in realtà, uguaglianza di pesi.

<sup>14</sup> Bisogna pesare in sequenza il corpo da misurare e la massa campione, dopo di che si fa il rapporto delle due misure.

<sup>15</sup> a) Vero: questo è il modo operativo per definire la omogeneità; b) Vero (vedi risposta precedente); c) Falso: la massa non cambia ma il volume cambia al variare di pressione e temperatura; d) Vero: per definizione

<sup>16</sup> <sup>16</sup> a) Falso: è il  $\text{kg}/\text{m}^3$ . Poiché si tratta di una unità che produce numeri eccessivamente grandi si preferisce usare al suo posto il  $\text{kg}/\text{dm}^3$ ; b) Falso, differisce di 3 ordini

18. Spiegare come si possa ragionare in termini di densità anche quando si opera con corpi non omogenei. <sup>17</sup>
19. Confrontare le densità su scala nucleare, atomica e macroscopica e dedurre qualche conseguenza in termini di composizione della materia. <sup>18</sup>
20. Tentare di spiegare su scala microscopica come sia possibile che l'acqua allo stato liquido abbia una densità maggiore che allo stato solido. <sup>19</sup>

---

di grandezza; c) Falso: di circa 10; d) Vero:  $1\text{kg}/\text{dm}^3 = 10^{-3}\text{ ton}/(10^9\text{Å})^3 = 10^{-30}\text{ ton}/\text{Å}^3$

<sup>17</sup> Si ricorre alla densità media.

<sup>18</sup> Bisogna fare un po' di conti a partire dalle tabelle del capitolo 0 e quindi commentare i risultati trovati.

<sup>19</sup> Bisogna fare un po' di conti a partire dalle tabelle del capitolo 0 e quindi commentare i risultati trovati.

---

## Indice analitico

---

- accelerazione di gravità*: dati sperimentali; valore medio - 4
- bilancia a braccia uguali*: misuratore di massa - 6
- caduta libera* - 3
- cambia il peso*: in determinate condizioni - 2
- chilogrammo-massa*: corpo campione - 5
- densità*: definizione - 7; media; locale o puntiforme - 7
- Esercizio*: densità della materia nucleare - 8; densità di Terra e Luna - 7;  
densità, conversione di unità - 8
- esperimento*: caduta libera - 3
- Galilei* - 1; caduta libera - 4; esperimenti mentali sulla caduta libera - 3
- luogo naturale*: parola magica; forza di gravità - 1
- massa gravitazionale*: definizione - 5; invariante - 5; misura - 5
- massa inerziale*: massa gravitazionale; grandezze diverse che si unificano - 6
- peso*: cambia; debolmente; sensibilmente - 5; definizione - 2; diversità dalla forza di gravità - 2
- piano inclinato*: invenzione; m.u.a. - 4
- pompe a vuoto*: horror vacui - 3
- proprietà di tipo locale* - 5
- Quesiti di fine capitolo* - 9–12
- rapporto tra i pesi*: invariante - 5
- vincoli*: definizione - 2
- voi errate signor Simplicio* - 1

