Fascicolo 1

Alcuni richiami di fisica classica su forze e gravitazione

Le forze

Il significato del termine forza è legato alle molteplici influenze o ad azioni che i corpi esecitano gli uni sugli altri. Due sono le manifestazioni che qualitativamente contraddistinguono una forza: la *deformazione* di corpi solidi fissi e l'*accelerarzione* di corpi mobili
Le forze esistono in quanto ogni corpo è in presenza di tutti gli altri corpi e sottoposto alle loro azioni. Non ci sono corpi isolati: "*ogni cosa al mondo interagisce con qualcos'altro*".
Le forze possono essere contrastate o non contrastate da una forza resistente.
Il concetto di forza fu originalmente specificato da Isaac Newton (1667) nelle sue tre leggi fondamentali del moto con le quali ne diede la definizione più completa.

Prima legge (principio di inerzia)
Predice il comportamento dei corpi sui quali tutte le forze agenti risultano bilanciate. Essi saranno in uno stato di quiete o di moto uniforme su traiettoria rettilinea.
Se nessuna forza agisce su un corpo in quiete o in moto rettilineo rettilineo uniforme, il corpo conserverà il suo stato indefinitamente. L'assenza di forza però non implica che non ci sia moto, bensì comporta che la velocità non vari.

Seconda legge (legge di Newton)
Spiega perché un moto avviene con certe carattristiche. Essa esprime la formulazione quantitativa del legame tra la forza e lo stato di moto: $\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$.
L'interazione di un corpo con l'ambiente circostante, espressa tramite la forza $\boldsymbol{F}$*, determina l'accelerazione* $\boldsymbol{a}$ *ovvero la variazione della sua velocità nel tempo;* m *rappresenta la massa inerziale del corpo.*

Inerzia e massa di un corpo Il termine m della seconda legge, è denominato *massa inerziale* ed indica *l'inerzia,* cioè la proprietà comune a tutti corpi di opporsi alle variazioni di velocità e di permanere nel loro stato di quiete o di moto rettilineo uniforme finché non intervengano forze esterne a modificarlo. Nella meccanica newtoniana l'inerzia esprime la capacità di rispondere con una maggior o minore accelerazione $\boldsymbol{a}$ alle forze che agiscono su un corpo:

$$\boldsymbol{a} = \boldsymbol{F}/m \quad .$$

Un risultato del lavoro di Newton è l'aver compreso che l'inerzia, così introdotta, dipende ed è proporzionale alla *quantità di materia* di un corpo secondo una definizione intuitiva della stessa. Un'analisi accurata dei due concetti: di *inerzia* e *massa*, mostra che è operativamente semplice misurare l'inerzia di un corpo a cui si applica una forza esterna, appare invece meno semplice e diretto dare una definizione di cosa sia la quantità di materia dello stesso. La risposta della meccanica classica è che i due concetti coincidono.
L'immensa varietà di oggetti che costituiscono il mondo, dalle particelle elementari alle stelle e alle galssie, dall'elettrone al granello di sabbia, alle nuvole e al sole, hanno almeno una proprietà in comune: la *massa m.. E' u*na proprietà intrinseca della materia, permanente e immutabile (*Conservazione della massa*); nasce con l'oggetto ed è, in definiva, legata all'esistenza di questo.
La massa è la proprietà che fa sì che i corpi "sentano" la gravità.
La sola circostanza in cui possiamo avere la percezione della massa è il caso in cui proviamo ad accelerare un corpo applicando ad esso una forza.

Terza legge (*l'azione è uguale alla reazione*)
Esprime una caratteristica generale delle forze e cioè che le stesse compaiono sempre a coppie ed agiscono con uguale intensità, ma direzione opposta, su due corpi.
Newton ebbe la felice intuizione che le forze acceleratrici sui corpi sono sempre azioni reciproche. Se un corpo esecita una forza su un altro, quest'altro eserciterà una forza sul primo; in altri termini, *non è possibile che cambi la velocità di un corpo senza che cambi la velocità di un altro corpo.* Ma l'osservazione più comune insegna che le accelerazioni che due corpi si imprimono reciprocamente, sono generalmente diverse. Il motivo è che hanno masse diverse e che queste sono inversamente proporzionali alle accelerazioni ed hanno inoltre valori che stanno sempre nello stesso rapporto qualunque siano le velocità attuali.
La terza legge si può enunciare in questa forma:
se un corpo A esercita una forza $\boldsymbol{F}_{A\to B}$ su un corpo B, il corpo B reagisce esercitando una forza $\boldsymbol{F}_{B\to A}$ sul corpo A. Le du forze hanno la stessa direzione,lo stesso modulo e verso opposto; esse cioè sono uguali e contrarie: $\boldsymbol{F}_{A\to B} = -\boldsymbol{F}_{B\to A}$.

$$|\boldsymbol{F}_{A\to,B}| = |\boldsymbol{F}_{B,\to A}| \quad m_B a_B = m_A a_A \quad \Rightarrow \quad \frac{m_A}{m_B} = \frac{a_B}{a_A}$$

Il fatto che non esista una forza isolata, ma che le forze vadano considerate sempre a coppie, chiarisce, per la terza legge, che l'interazione tra due corpi è sempre un'*azione mutua*.
Se consideriamo le forze responsabili dei fenomeni fisici studiati nella fisica classica, o in altre dsiscipline quali la la biologia, la chimica, l'ingegneria, esse sono tutte riconducibili a poche interazioni fondamentali, *l'interazione gravitazionale* e *l'interazione elettromagnnetica*. A livello nucleare e subnucleare si presentano altri due tipi di interazione, *l'interazione forte* e *l'interazione debole.*

La forza gravitazionale: il peso

Tra le forze della natura quella che conosciamo da più tempo è la forza di gravità. Una delle sue proprietà fondamentali fu identificata da Galileo Galilei all'inizio del diciassettesimo secolo. I corpi se lasciati cadere liberamente vicino alla superficie terrestre cadono tutti con la stessa accelerazione $\boldsymbol{g}$, detta di *gravità*, se può essere trascurata la resistenza dell'aria. Si osserva ciò sperimentalmente qualunque sia la massa inerziale dei corpi. Il modulo g di questa accelerazione varia leggermente da posto a posto sulla terra, in particolare con la latitudine e l'altitudine, e vale *in media* $g=9{,}8\ m/s^2$. Essa è la conseguenza della forza di attrazione terrestre, denominata *forza di gravità*, cioè dell'interazione gravitazionale terra- corpo, che è l'origine di ciò che comunemente chiamiamo *peso* di un corpo.
Applichiamo la seconda legge di Newton ad un corpo di massa m che cade per effetto della gravità. L'accelerazione $\boldsymbol{a}$ in tal caso è l'accelerazione di gravità $\boldsymbol{g}$ verso il basso dovuta alla forza di gravità $\boldsymbol{F}_G$; cioè $\boldsymbol{a}$=g. Si può allora scrivere per la seconda legge: $\boldsymbol{F}_G = m\boldsymbol{g}$
Essa è diretta in basso, verso il centro della terra, e il suo moduolo è il *peso* del corpo.

La forza peso $\boldsymbol{F}_G$ risulta pertanto proporzionale alla massa.

Si tratta di una *forza costante* e, in assenza di altre forze, il moto che essa determina ha una omponente uniformemente accelerata nella direzione parallela a g.
E' chiaro che la forza di gravità agisce su un corpo mentre cade. Quando il corpo è fermo sulla terra, la forza gravitazioale $\boldsymbol{F}_G$ su di esso non scompare ma continua ad agire. Infatti, dalla seconda legge di Newton, la forza risultante su un corpo che rimane fermo è zero. Deve essere presente un'altra forza, agente sul corpo, che *contrasta* e *bilancia* la forza gravitazionale. Per un oggetto fermo su un tavolo è quest'ultimo che esercita questa forza verso l'alto.
La proporzionalità tra peso e massa suggerisce che il confronto tra due masse possa essere effettuato confrontando le rispettive forze peso; è su questa idea che si basa il metodo di misura delle masse tramite la bilancia.

competizione di forze

Un corpo di massa m poggiato sul pavimento si trova in una condizione di equilibrio statico. Esso è attratto verso il basso dalla terra con una forza pari al suo peso ma non si muoveà in quella direzione. Il pavimento infatti lo impedisce esercitando sul corpo una forza contraria, di *reazione*, che in modulo vale mg e che ne contrasta il moto. E' questa *reazione*, applicata per esempio al nostro corpo, che ci dà la sensazione di peso. Le due forze competitive: *peso e reazione* sono antagoniste e concorrono a determinare l'equilibrio.

Sulla superficie terrestre, se all'estremità libera di una molla di lunghezza L_0, appesa al soffitto, è attaccato un corpo di massa m, ciò che si osserva, in codizioni di equilbrio, è che il corpo non si muove verso il basso e la molla ha assunto una nuova lunghezza $L>L_0$. Dalla configurazione iniziale di molla "scarica" essa è infatti passata, deformandosi, a quella finale di molla "carica" variando la sua lunghezza di una quantità $\Delta L=L-L_0$. La forza peso $\boldsymbol{mg}$ del corpo, dovuta all'attrazione della terra, è contrastata dalla forza antagonista F, sviluppata dalla molla in direzione opposta. Quest'ultima, denominata *forza elastica*, compete con il peso del corpo e lo equilibra quando il suo modulo, $F= k\,\Delta L$, con k costante, raggiunge un valore pari a mg (*figura 1).*

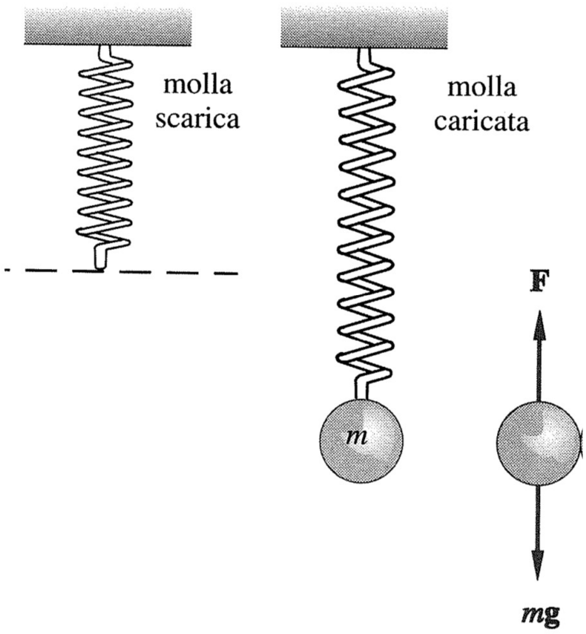


Fig. 1

Effetto della forza di attrazione della terra su un corpo di massa m sospeso all'estremità libera di una mola, orientata verticalmente, con l'altro estremo fissato al soffitto.

La molla esercita sul corpo una forza aggiuntiva alla gravità che, agendo in verso opposto, compensa l'effetto di caduta determinando l'equilibrio. Quest'ultimo è caratterizzato da una variazione di lunghezza della molla.

Le due forze in competizione, concomitanti e contrapposte, agiscono in antagonismo sul corpo. Esse sono la forza peso $F_G=mg$ diretta verso il basso e la forza elastica $F=k\Delta L$ diretta verso l'alto.

Sull'equilibrio tra la forza peso F_G forza elastica F si basa il metodo di misura statica delle forze mediante il dinamometro. (*figura 2*).

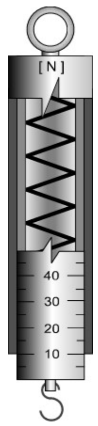


Fig. 2 Dinamometro

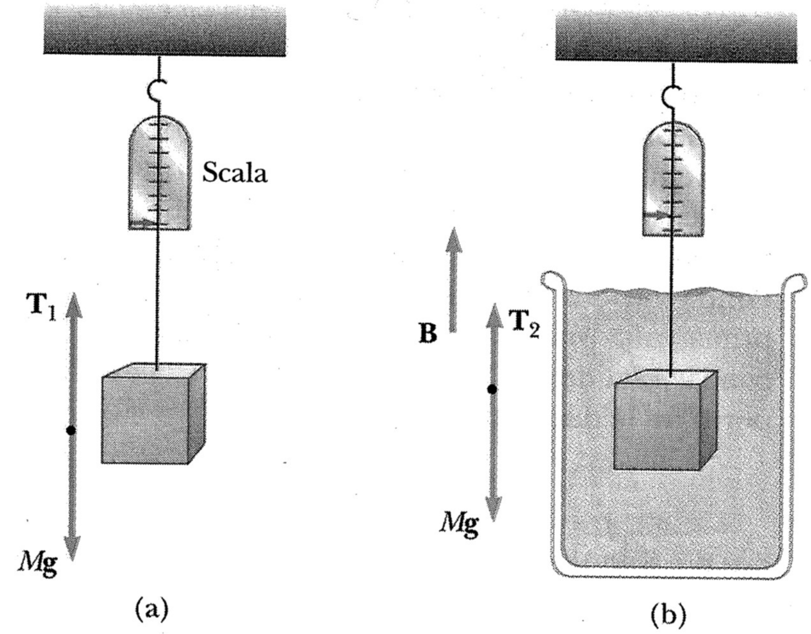
Il suo funzionamento si rifà alla legge di Hooke secondo cui la deformazione elastica di un materiale, ad esempio una molla, è proporzionale alla forza ad esso applicata. Una misura dell'allngamento della molla fornisce indirettamente il valore della forza su una scala graduata tarata in Newton [N]. In questo caso il funzionamento è a trazione

A modificare l'equilibrio tra peso e forza elastica contribuisce la presenza del mezzo fluido in cui il corpo pesante è immerso. Nel caso, per esempio, di un liquido le forze di pressione agenti su esso hanno come risultante una forza (spinta di Archimede) diretta vertcalmente verso l'alto, di modulo uguale a quello del peso di fluido che il corpo ha spostato. In tal contesto si ha l'azione concomitante di tre forze verticali in competizione che concorrono a stabilire l'equilibrio statico del corpo. (*La descrizione del fenomeno relativo alla forza di spinta è riportata nel fascicolo intitolato alla statica dei fluidi*).

In *figura 3* sono rappresentate due diverse situazioni di equilibrio statico riguardanti un pezzo metallico di massa M attaccato a un dinamometro, sulla superficie della terra, rispettivamente in aria (*a*) e in acqua (*b*). Nel caso (*a*) la forza elastica $\boldsymbol{T_1}$ esercitata dalla molla del dinamometro, diretta in alto, è equilibrata dalla forza peso agente verso il basso: $M\boldsymbol{g}=\boldsymbol{T_1}$ (si assume che la spinta dell'aria possa essere trascurata). La posizione dell'indice sulla scala graduata fornisce il valore del peso "vero" del corpo in *Newton*.

Nela caso (*b*) si è aggiunta una nuova forza diretta verso l'alto. Si tratta della spinta **B** dell'acqua; insieme alla forza elastica essa agisce in atagonismo con la forza peso. Il suo modulo è uguale al peso del volume d'acqua spostato dal corpo: $B = \rho g V$ dove ρ è la densità dell'acqua (kg/m^3), V il volume del pezzo metallivo (m^3), g l'accelerazione di gravità ($9{,}81\ m/s^2$). La spinta riduce la forza, indicata dalla scala del dinamometro, al valore $T_2 = Mg - B$ ((*peso apparente del pezzo metallico)*.

Fig. 3
Due casi di equilibrio statico per un corpo immerso in:
(*a*) aria;
(b) acqua.
Mg forza peso,
T_1 forza elastica di richiamo in aria,
B spinta (di Archimede) dell'acqua,
T_2 forza elastica di richiamoin acqua.



Gravitazione universale

"La gravità è un'abitudine da cui è difficile liberarsi (Terry Pratchett 1982- scrittore britannico noto per i suoi romnnzi fantasy umoristici)"

Isaac Nwton, oltre a formulare le tre leggi del moto, studiò anche il moto dei pianeti e della luna; in particolare si domandò quale fosse la natura della forza che doveva agire per mantenere la luna nella sua orbita attorno alla terra. Egli indagò anche il problema della *gravità.* Siccome i corpi che cadono sono in accelerazione, giunse alla conclusione che dovesse esistere una forza agente su di essi (*la forza di gravità)* che causa la loro accelerazione. Ma se ogni corpo risente di questa forza, essa deve essere esercitata da qualche altro corpo. Poiché ogni oggetto sulla terra avverte la forza di gravità, che è sempre diretta verso il suo centro, deve essere la terra stessa ad esercitare la forza gravitazionale sugli oggetti vicini alla superficie terrestre.

Partendo dall'idea che fosse la gravità terrestre a trattenere la luna nella sua orbita, Newton sviluppò la teoria della gravitazine in cui la forza di gravità è la stessa forza che fa cadere al suolo qualsiasi oggetto per effetto dell'attrazione.
Egli provò a determinare l'intensità della forza gravitazionale che la terra esercita sulla luna confrontandola con la forza gravitazionale che agisce sugli oggetti vicini alla superficie terrestre dove la forza di gravità accelera i corpi a *9,8* m/s^2. A tale scopo confrontò l'accelerazione centripeta della luna in orbita intorno alla terra con l'accelerazione di un oggetto che cade in prossinità della superficie terrestre (*figura 4*). Con procedimenti indipendenti calcolò l'accelerazione della luna trovando valori tra loro in accordo. Ciò lo indusse a concludere che la forza gravitazionale esercitata dalla terra su ogni oggetto decresce con il quadrato della distanza r dal centro della terra ($F \propto 1/r^2$).

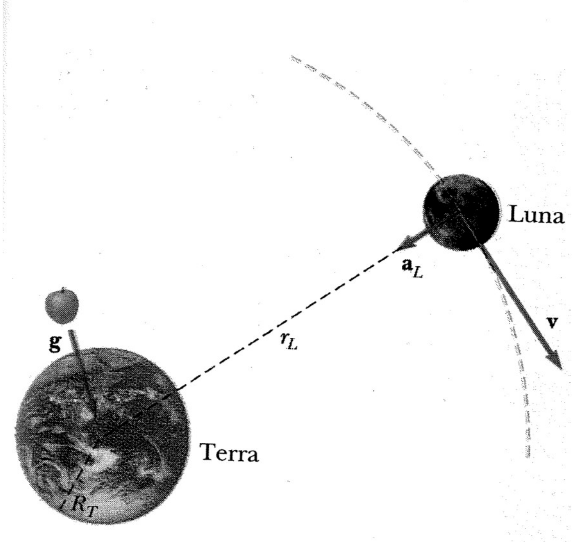


Fig. 4
La luna mentre ruota intorno alla terra subisce un'accelerazione centripeta $\mathbf{a}_L$ diretta verso la terra . Un oggetto vicino alla superficie,come la mela mostrata qui, subisce un'accelerazione ***g***.

Newton comprese inoltre che la forza gravitazionale agente su un oggetto dipende non solo dalla distanza ma anche dalla massa dell'oggetto.
Secondo la terza legge, quando la terra esercita la sua forza gravitazionale su un qualsivoglia oggetto, come la luna, quest'altro oggetto esercita una forza uguale e contraria sulla terra.
A causa di questa simmetria egli intuì che la forza di gravità dovesse essere proporzionale ad entrambe le masse $\left(F \propto \frac{m_T \cdot m_{og}}{r^2}\right)$ con m_T massa della terra, m_{og} massa dell'oggetto e r la distanza tra il centro della terra e l'oggetto.
Nella sua analisi della gravità Newton compì un ulteriore passo studiando le orbite percorse dai pianeti intorno al sole ed osservò che la forza richiesta per mantenerli nelle rispettive orbite sembrava diminuire come l'inverso del quadrato della loro distanza dal sole. Questa intuizione lo condusse a pensare che fosse ancora la forza gravitazionale che agisce tra il sole e ciascuno dei pianeti a farli restare nelle loro orbite. E se la gravità agisce tra questi oggetti, perché allora non agisce tra tutti gli oggetti? Egli propose quindi la sua famosa ***legge della gravitazione universale*** che possiamo enunciare nel seguente modo:
Ogni particella dell'universo attrae ogni altra particella con una forza che è direttamente proporzionale al prodotto delle rispettive masse e inversamente proporzionale al quadrato della distanza tra esse. Questa forza agisce lungo la linea congiungente le due particelle.
Il modulo della forza gravitazionale può essere scritto come:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2} \qquad (*)$$

dove m_1 e m_2 *sono le masse delle due particelle,* r è la distanza tra di esse e G è una costante universale, da misurare sperimentalmente, che ha lo stesso valore numerico per tutte le coppie di corpi e non dipende dal sistema di riferimento:

$$G = 6{,}67\cdot10^{-11}\ Nm^2/kg^2 = 6{,}67\cdot10^{-11}\ m^3/kgs^2.$$

Il valore molto piccolo di G spiega perchè normalmente non si nota alcuna forza di attrazione fra gli oggetti di grandezza ordinaria.
Per esempio, una stima del modulo della forza di attrazione reciproca di due persone sedute alla distanza di *0,5 m*, una con massa *50 kg* e l'altra di *75 kg,* per la legge di gravitazione universale, fornisce il valore:

$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2} \approx \frac{(10^{-10}\ Nm^2/kg^2)(50kg)(75kg)}{(0{,}5m)^2} \approx 10^{-6}\ N$ in cui si è arrotondato G a $10^{-10} Nm^2/kg^2$

La forza *F* è troppo piccola per potere essere notata!

Il valore della costante *G* è quello conosciuto peggio tra tutte le costanti di natura importanti, appunto perché la forza gravitazionale è molto debole. Solanto in quanto siamo molto vicini alla superficie della terra, con la sua massa enorme ($5{,}97 \cdot 10^{24}$ *kg*), percepiamo effettivamente una forza gravitazionale notevole.

Pare che l'evento che condusse Newton a pensare alla gravitazione universale sia stata la caduta di una mela (così narra la leggenda). Osservando questo fatto egli si chiese se la forza che faceva cadere la mela non fosse la stessa forza che faceva "cadere" la luna verso la terra .
Ma la luna "cade" verso la terra? In un certo senso sì.
Egli fu il primo a pensare che la luna si comporta né più né meno come un proiettile sparato orizzontalmente alla superficie della terra. L'idea che la luna nel suo moto orbitale si comporta come un proiettile che "continua a cadere" senza mai toccare terra convinse Newton della possibilità di realizzare un satellite terrestre. Egli calcolò che se un potente cannone posto sulla cima di un'alta montagna avesse sparato un proiettile con velocità iniziale sufficientemente alta, questo si sarebbe messo a ruotare intorno alla terra (*figura 5*)

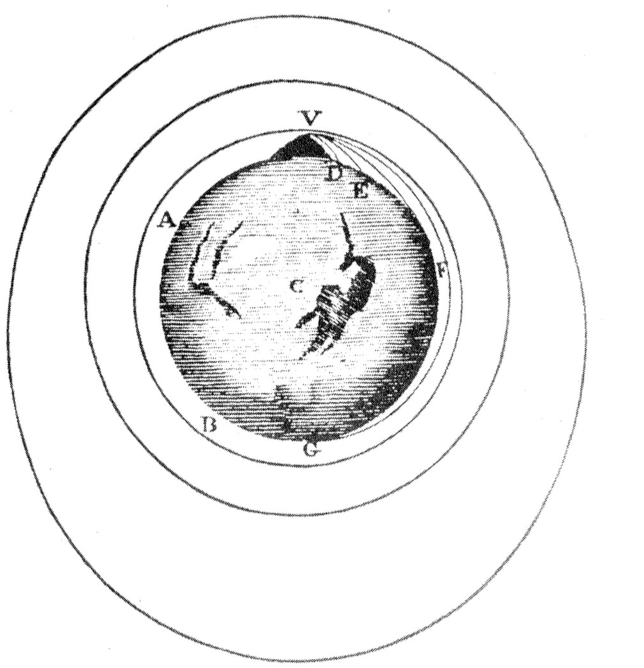


Fig. 5
Ilustrazione tratta dal lavoro di Newton: i *Principia (1697)*, dove presenta un esperimento mentale per dimostrare il legame tra la caduta libera e il moto orbitale.
Immaginiamo di lanciare un proiettile orizzontalmente dalla cima di una montagna. Maggiore è il modulo della velocità iniziale del proiettile, maggiore è la distanza percorsa in caduta libera, prima di toccare il suolo. In assenza di resistenza dell'aria, una velocità iniziale di modulo abbastanza grande può far sì che il proiettile giri intorno alla terra e ritorni al punto di partenza. Perciò un oggetto che orbita intorno alla terra è in realtà in caduta libera; ha semplicemente una grande velocità orizzontale.

Quale deve essere la velocità iniziale del proiettile affinché esso giri come una piccola luna a distanza costante dalla superficie terrestre?
Una traiettoria circolare con velocità *tangenziale* di modulo v richiede un'accelerazione radiale *(centripeta)* $a = v^2/r$ che viene fornita *da*lla forza di attrazione gravitazionale esercitata dalla terra, cioè dal *peso* del proiettile. Questa accelerazione, diretta verso il centro della terra, vale: $a = g = 9{,}8\ m/s^2$. D'altra parte la distanza della superficie terrestre dal centro della terra, ossia il raggio terrestre, è uguale a circa $6{,}4 \cdot 10^6 m$. Abbiamo dunque:

$9{,}8 = v^2/6{,}4 \cdot 10^6\ m$ da cui *v=8000 m/s=8 km/s.*

Se la velocità iniziale ha questo valore in direzione orizzontale abbiamo il caso di *figura 5* in cui il proiettile gira intorno alla terra come una piccola luna, rasente alla sua superficie.
Per velocità $v > 8\,km/s$ il proiettile gira intorno alla terra come un pianeta percorrendo un'ellisse.
Per velocità iniziali v *>11,2 km/s* l'ellisse diventa una iperbole: il proiettile lascia la terra e scompare per sempre. Per il sole la velocità corrispondente è di *618 km/s*.
In *figura 6* è esemplicato il caso di un satellite artificiaale posto in orbita da razzi che gli imprimono un'accelerazione fino al raggiungimento di una velocità tangenziale sufficiente. Se la velocità è troppo alta, il veicolo spaziale non è più trattenuto dalla gravità terrestre e si perde nello spazio. Se invece la velocità è troppo bassa , esso tornerà sulla terra.

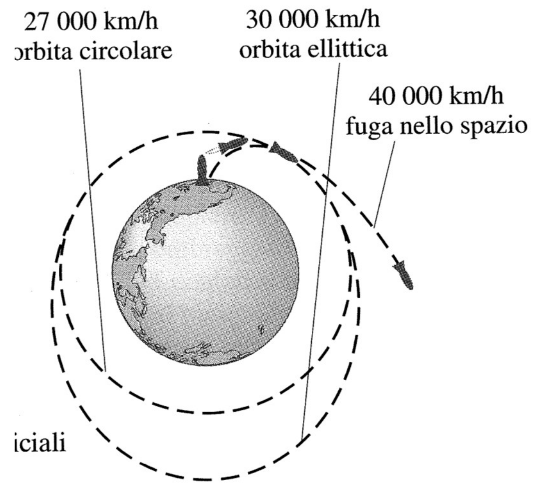


Fig. 6
Satelliti artificiali lanciati a diverse velocità. Ciò che "tiene su" un satellite è la sua velocità. Se un satellite smettesse di muoversi, cadrebbe direttamente sulla terra. D'altro canto l'altissima velocità a cui si muove lo farebbe sfuggire nello spazio, se non fosse per la forza gravitazionale della terra che lo mantiene in orbita. In effetti esso è in *continua caduta* (è accelerato verso la terra), ma la sua *velocità tangenziale* elevata gli impedisce di colpirla.

Spesso è utile esprimere la relazione (*) in forma vettoriale. A tale scopo introduciamo un versore, cioè un vettore adimensionale di modulo unitario che caratterizza un orientamento (direzione e verso). Fissiamo l'origine delle coordinate in m_1 e ndichiamo con $\boldsymbol{u}$ il versore diretto da m_1 a m_2. La forza di gravità $\boldsymbol{F}_{1\to2}$ esercitata da m_1 su m_2 ha verso opposto a $\boldsymbol{u}$ quindi possiamo scrivere

$$\boldsymbol{F}_{1\to2} = -G\frac{m_1 m_2}{r^2}\boldsymbol{u}$$

(ovviamente m_2 esercita su m_1 una forza $\boldsymbol{F}_{2\to1} = -\boldsymbol{F}_{1\to2}$).

Osservazione
La legge di gravitazione universale non deve essere confusa con la seconda legge di Newton: $\sum \boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}$**;** la prima descrive una forza particolare, la gravità, e come varia la sua intensità con la distanza e le masse coinvolte, la seconda legge di Newton, invece, correla la *forza totale* agente sul corpo (cioè la somma di tutte le diverse forze agenti qualunque siano le sorgenti) con la massa e l'accelerazione del corpo.

Campo gravitazionale: alcuni cenni
Il campo gravitazionale è una regione dello spazio dove una massa esperimenta un'attrazione gravitazionale. Questa attrazione fa parte di una classe di forze che non comportano il contatto fisico fra due oggetti ma agiscono attraverso lo spazio vuoto e sono note come *campi di forza*. Grazie alla nozione di campo gli scienziati sono stati in grado di spiegare come i corpi possono interagire senza neppure sfiorarsi. L'esistenza in un punto di una massa modifica le caratteristiche dello spazio attorno, influenzando di conseguenza il comportamento di ciò che si trova nelle vicinanze.
Per visualizzare il campo gravitazionale si immagini di disegnare, in ogni punto dello spazio, un vettore che rappresenta la forza gravitazionale su una massa di prova collocata in quel punto, cioè

su una piccola massa il cui campo non disturbi il sistema. L'insieme di infiniti vettori è il campo gravitazionale. La terra genera intorno a sé un campo gravitazionale e in questa regione tutti i corpi esperimentano una forza di attrazione che si manifesta come un cambiamento di velocità. Un corpo inizialmente fermo se viene lasciato cadere, aumenta la sua velocità di caduta verso il suolo. La luna invece continua a ruotare intorno alla terra e non va diritta nello spazio, come farebbe se tra il pianeta e il suo satellite non esistesse il campo gravitazionale.

L'interazione gravitazionale è descritta come un processo a due stadi che coinvolge un *campo*. Prima un corpo (o una sorgente massiva) genera un *campo gravitazionale* $\boldsymbol{g}$ nello spazio intorno ad esso poi, un secondo corpo (o una *massa di prova*) di massa m in questo campo, subisce una forza $\boldsymbol{F}_G = m\boldsymbol{g}$. Si tratta di un modello secondo cui è il campo ad esercitare una forza su una massa di prova piuttosto che la sorgente massiva del campo a esercitare direttamente la forza.

Il campo gravitazionale è defiito come: $\boldsymbol{g} \equiv \boldsymbol{F}_G/m.$

Cioè, in un punto dello spazio, il campo è uguale alla forza gravitazionale $\boldsymbol{F}_G$ subita da una massa di prova posta in quel punto diviso la massa stessa.

Di conseguenza, se il campo $\boldsymbol{g}$ è noto in qualche punto dello spazio, una particella di massa m posizionata in quel punto è soggetta alla forza gravitazionale $\boldsymbol{F}_G = m\boldsymbol{g}$.

Ogni corpo dotato di massa genera un *campo gravitazionale* responsabile della forza di attrazione "sentita" dai corpi. La terra ne è esempio (*figura 7*).

Considerando, ad esempio, un oggetto di massa m in un punto *vicino* alla superficie della terra, la forza gravitazionale su di esso è diretta verso il suo centro e ha modulo mg. Dunque, il campo gravitazionale $\boldsymbol{g}$ a cui è sottoposto l'oggetto ha *un modulo* pari a g cioè all'accelerazione di gravità in quel punto. Poiché la *forza gravitazionale* sull'oggetto ha il modulo Gm_Tm/r^2, il campo $\boldsymbol{g}$ alla distanza r dal centro della terra è: $\boldsymbol{g} = \frac{\boldsymbol{F}_g}{m} = -G\frac{m_T}{r^2}\boldsymbol{u}$

Il versore $\boldsymbol{u}$ punta radialmente all'esterno della terra e il segno meno indica che esso è diretto verso il suo centro. Sulla superficie terrestre l'accelerazione di gravità g è quindi determinata dalla massa m_T e dal raggio r_T della terra.

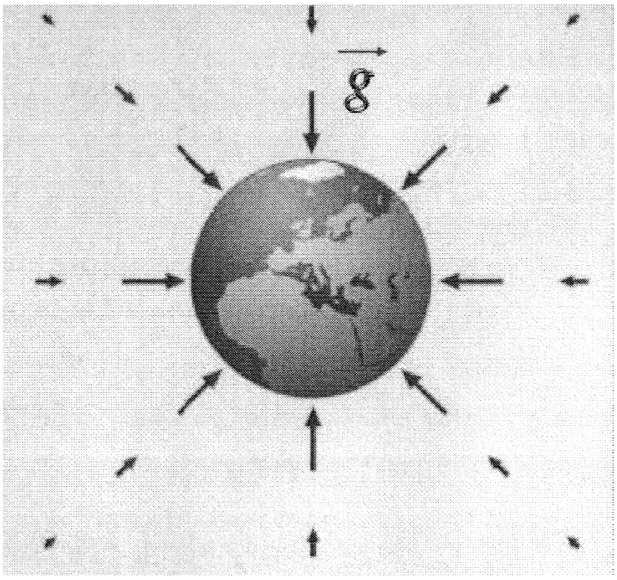


Fig. 7

Vettori del campo gravitazionale $\boldsymbol{g}$ nello spazio circostante la terra considerata come una massa sferica uniforme.

In punti diversi i vettori variano sia in direzione che in modulo.

In una *piccola regione* vicino alla superficie terrestre, alla distanza r, $\boldsymbol{g}$ è approssimativamente costante e il campo, diretto verso il basso, è *uniforme*. Sulla superficie della terra, dove r è uguale al suo raggio, $\boldsymbol{g}$ ha un *modulo* di $9,81 m/s^2$.

Sulla superficie terrestre il campo gravitazionale $\boldsymbol{g}$ ha un modulo $g = G\, m_T/r_T^2$ [m_T *è* la massa della terra *(circa* $6\cdot10^{24}$ *kg)*, r_T è il raggio terrestre (circa $6,37\cdot10^6$ *m*)] *il cui* valore è circa

9,8 N/kg.
Sulla superficie della luna il gampo gravitazionale $\boldsymbol{g}_L$ ha un modulo $g_L = G\, m_L/r_L^2$ [m_L massa della luna (circa $7{,}34\cdot10^{22}kg$), r_L il raggio lunare (circa $1{,}73\cdot10^{6}m$)] il cui valore è circa *1,6 N/kg*. Sulla luna dunque gli oggetti pesano circa sei volte meno che sulla terra.

Intorno alla terra e anche nell'interno di essa si manifesta il campo delle forze di gravità, ossia i corpi pesano. Supposta la terra sferica e con densità uniforme in tutto il suo volume, la *figura 8* mostra una rappresentazione semplificata dell'andamento del campo gravitazionale al variare della posizione rispetto al suo centro (*figura 8*).

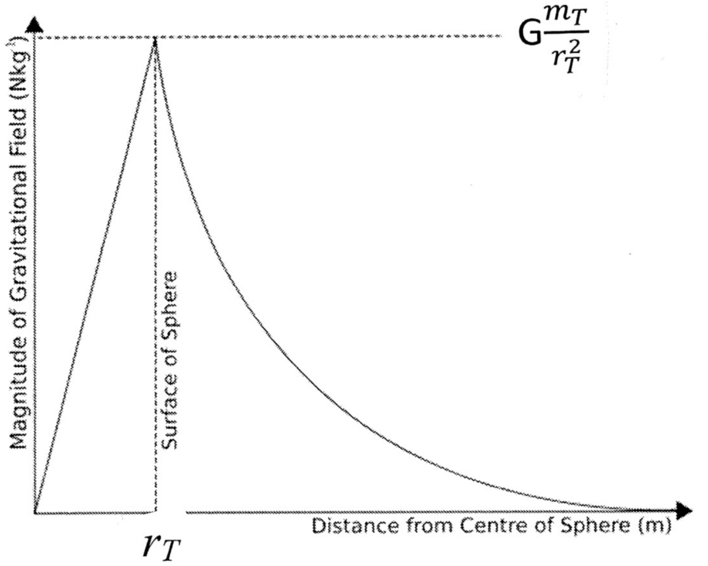


Fig. 8
Una rappresentazione schematica di come il modulo del campo graviazionale varia dal centro della terra a distanze da esso infinitamente grandi.
Alla superficie assume il suo massimo valore ed allontanandosi da essa decresce rapidamente ma non si annulla mai.
Il campo gravitazionale ha un raggio di azione infinito.