Capitolo 11

La cinematica dei moti rettilinei

11.1 La cinematica

Lo studio del moto ha inizio con gli antichi Greci e da allora ha sempre costituito uno degli argomenti principali nell'indagine dei fenomeni naturali.

La parte della fisica che si occupa del movimento a prescindere dalle sue cause ci chiama **cinematica**. Le grandezze fisiche prese in esame sono lo spazio percorso, la traiettoria, la velocità e l'accelerazione. I vari tipi di moto possibili sono classificati in rettilinei, circolari, uniformi, uniformemente accelerati ...

Nell'affrontare lo studio della cinematica si pongono le seguenti premesse:

1) le dimensioni dell'oggetto studiato vanno considerate **puntiformi**.

In tal senso, una macchina in movimento sulla strada, un aereo in volo, un satellite in orbita attorno alla Terra, la stessa Terra nel suo moto attorno al Sole devono essere pensati come punti materiali, cioè privi di dimensione e di estensione propria. Il guadagno di una tale approssimazione é una maggiore semplicità nella trattazione matematica del moto.

2) la posizione dell'oggetto in moto, istante dopo istante, è definita rispetto ad un opportuno **sistema di riferimento di origine O**.

Viene da sè che una tale questione risulta essere alquanto delicata perché l'esperienza dimostra che il concetto di moto ha un evidente *valore relativo e non assoluto*. Una persona su un veicolo in corsa, ad esempio, può essere considerata ferma rispetto al veicolo stesso, ma è in moto rispetto ad un osservatore a terra; un osservatore fermo sulla Terra è invece in moto non solo rispetto a un veicolo in corsa, ma anche rispetto al Sole. Due treni che corrono paralleli nello stesso verso e con la stessa velocità possono essere considerati fermi l'uno rispetto all'altro, ma sono ovviamente in moto rispetto ai binari, e così via. Per esprimere il movimento di un generico punto P nello spazio, diventa allora essenziale specificare il sistema di riferimento a cui ci si riferisce: ad esso si fa corrispondere una *terna di assi cartesiani x, y, z e di origine O* che risulta indispensabile per esprimere la posizione di ogni oggetto studiato. Nel caso di un moto rettilineo, è sufficiente considerare l'asse delle ascisse.

3) Sia P un corpo in moto in un dato sistema di riferimento. Definiamo **vettore posizione** un vettore **S** applicato nell'origine O degli assi cartesiani e con l'estremo nel punto P. Il modulo di **S** esprime, istante dopo istante, la distanza dall'origine O degli assi cartesiani dell'oggetto in movimento e, di conseguenza, la posizione assunta da P nel tempo.

Possiamo ora enunciare la seguente definizione:

Un oggetto è in **moto** *se il suo vettore posizione* **S** *varia nel tempo rispetto al sistema di riferimento prescelto.*

4) Si definisce **legge oraria** u*na relazione logico-matematica in grado di fornire ad ogni istante* t *la posizione* **S** *assunta da un corpo in moto.*

Semplici esempi di leggi orarie che si incontrano frequentemente nella vita di ogni giorno sono le tabelle degli orari di treni e dei pullman. In questi casi la relazione ha spesso la forma di una rappresentazione tabulare delle variabili *spazio* e *tempo*. Nella maggior parte dei casi che incontreremo, però, tale relazione sarà espressa nella forma di una equazione matematica, con le variabili spazio e tempo come incognite. Quelli che seguono sono esempi elementari di leggi del moto: il tempo è in genere indicato con la lettera t, mentre lo spazio può essere di volta in volta rappresentato dalle incognite s, x, y ...

$\mathrm{s} = 4\ \mathrm{t} - 2$

$\mathrm{x} = 6\ \mathrm{t}^2 + 2\ \mathrm{t} - 3$

$\mathrm{y} = 5\mathrm{t}$

5) Si chiama **grafico orario** *la curva che rappresenta la legge oraria del moto in un sistema di riferimento cartesiano.*

Un grafico orario viene sempre costruito ponendo la variabile tempo t sull'asse delle ascisse e la variabile S sull'asse delle ordinate.

6) Si definisce **traiettoria** *la curva continua che unisce tutte le posizioni successivamente occupate nello spazio da un corpo in movimento, e che rappresenta il percorso "visibile" effettivamente compiuto dall'oggetto considerato.*

Anche la traiettoria può essere espressa da una relazione matematica, ma attraverso una equazione che contiene solo le coordinate spaziali x, y, z e non il tempo t. Questa caratteristica distingue l'equazione di una traiettoria da quella della legge oraria del moto. Esempi di traiettorie sono le seguenti equazioni:

$\mathrm{y} = \mathrm{x}$ retta

$\mathrm{y} = 2\ \mathrm{x}^2 + 5\mathrm{x} - 1$ parabola

$\mathrm{x}^2 + \mathrm{y}^2 = 1$ circonferenza.

Inizieremo lo studio della cinematica dai casi più semplici di moto, in cui la traiettoria è rettilinea e non avvengono inversioni di moto. In questa situazione, il modulo del vettore posizione **S** coincide sempre con lo spazio percorso dall'oggetto studiato, cioé con la distanza tra questo e l'origine O del sistema di riferimanto cartesiano adottato.

11.2 La velocità in un moto rettilineo

La velocità è una grandezza vettoriale. Infatti, se dico di muovermi a partire da un punto A con una velocità di 40 km/h, è evidente che dopo un'ora di tempo mi troverò in un punto B che dista da A esattamente 40 km. Non mi sarà possibile, però, dire in che posizione mi trovo. Il punto B corrisponderà a località diverse in funzione della direzione e del verso del vettore velocità (Nord, Sud, Est, Ovest ...).

In questa introduzione allo studio della cinematica, però, cosideriamo solo moti rettilinei in cui la traiettoria è rappresentata dall'asse delle ascisse: in tal caso la questione si semplifica perché la direzione è unica e fissata a priori. Il modulo della velocità risulterà preceduto da un segno algebrico positivo se il moto avviene lungo la direzione positiva della traiettoria, negativo in caso contrario.

Velocità media scalare - Se ci troviamo su di un'auto e diciamo di muoverci a 50 km/h, il significato di questa affermazione non dovrebbe lasciare dubbi: vogliamo dire cioè che, se la velocità rimane costante, percorreremo 50 km in un'ora, 100 km in due ore, 25 km in mezz'ora . . . Se invece la velocità dovesse cambiare nel tempo (per una sosta, un semaforo, per la presenza di traffico...) e scoprissimo che dopo un'ora abbiamo comunque coperto un tragitto di 50 km, potremo solo affermare che la nostra *velocità media* é di 50 km/h. Da ciò segue la seguente definizione:

$$v_{media} = \frac{spazio}{tempo} = \frac{\triangle S}{\triangle t} = \frac{S_f - S_i}{t_f - t_i} \tag{11.1}$$

Le unità di misura nel S.I. sono *m/s* (metri al secondo). Nel uso quotidiano è abbastanza frequente misurare la velocità in *km/h.* Il passaggio da una scrittura all'altra si ottiene tramite la seguente ovvia equivalenza metrica:

$$1\frac{km}{h} = \frac{1\,000\,m}{3\,600\,s} = \frac{1}{3,6} \cdot \frac{m}{s}$$

Per la trasformazione inversa dai *m/s* ai *km/h* basta invece moltiplicare il modulo della velocità per lo stesso coefficiente "3,6":

$$1\frac{m}{s} = \frac{1/1000\,km}{1/3\,600\,h} = 3,6 \cdot \frac{km}{h}$$

Velocità istantanea – Riconsideriamo l'esempio precedente relativo a una macchina che copre in un ora un tragitto di 40 km perché c'è ancora un aspetto importante da chiarire: se il moto non è avvenuto a velocità costante, come è molto probabile nella realtà di ogni giorno, conoscere la *velocità media* non ci aiuta ad ottenere il valore della velocità in un istante qualsiasi. Non possiamo infatti sapere se essa è cambiata (e come) istante dopo istante.

Questa nuova e più precisa esigenza può essere soddisfatta solo restringendo il calcolo ad intervalli di tempo molto piccoli: se, infatti, consideriamo il valore della velocità media in intervalli di 1 minuto, di 1 secondo, di 1 decimo di secondo . . . e così via, prendendo intervalli temporali sempre minori, al limite tendenti a zero, il risultato ottenuto di volta in volta sarà una approssimazione sempre più vicina al valore che cerchiamo: quello della *velocità istantanea.*

Supponiamo di voler conoscere la velocità nell'istante t = 60 s dalla partenza: il primo passo potrebbe essere quello di calcolare la velocità media del corpo in moto nell'intervallo di 10 secondi compreso tra t = 60 s e t = 70 s. Il valore che ottengo in questo caso é senz'altro una buona stima della velocità istantanea richiesta, ma sicuramente posso fare di meglio considerando l'intervallo di tempo tra 59 e 61 secondi. E se non dovessi essere ancora soddisfatto, potrei ricavare la velocità media tra 59,9 e 60,1 secondi, oppure tra 59,99 e 60,01, tra 59,999 e 60,001 secondi ... e via di questo passo, considerando intervalli di tempo di volta in volta più piccoli che conducono ad approssimazioni sempre migliori del risultato.

La procedura sopra descritta è di tipo sperimentale. Nella risoluzione di problemi ed esercizi teorici il calcolo della velocità istantanea viene ottenuto in modo relativamente semplice con procedure di tipo algebrico che fanno riferimento alle diverse leggi orarie del moto.

11.3 L'accelerazione in un moto rettilineo

La necessità di definire il concetto di velocità istantanea nasce dalla constatazione che, tranne alcuni casi specifici, durante il moto di un oggetto il vettore velocità non rimane costante nel tempo, e questo cambiamento può riguardare il modulo (una macchina che accelera o frena lungo una strada rettilinea), oppure anche solo la direzione o solo il verso del vettore velocità: è questo il caso in cui un'auto percorre alla velocità costante di 50 km/h una curva circolare: il modulo non varia, ma la direzione del vettore velocità cambia in ogni istante, pur mantenendosi sempre tangente alla traiettoria.

Per meglio studiare queste situazioni di moto si introduce il concetto di **accelerazione** la cui definizione, nel caso di traiettoria rettilinea, è la seguente:

$$a = \frac{\triangle v}{\triangle t} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \tag{11.2}$$

Le unità di misura nel S.I. sono m/s^2 (metri al secondo quadrato).

Un modo a volte più utile per scrivere l'accelerazione, a partire dall'equazione (11.2), può essere il seguente:

$a \cdot \triangle t = v_f - v_i$

$a \cdot (t_f - t_i) = v_f - v_i$

Ponendo l'istante iniziale uguale a zero ed esplicitando l'equazione rispetto alla velocità finale, si ottiene la seguente espressione:

$$v_f = v_i + at \tag{11.3}$$

11.4 Una questione di segno

Nell'affrontare la risoluzione di un problema di cinematica *la scelta del verso positivo della direzione di moto è totalmente arbitraria.*

Come diretta conseguenza, il **segno algebrico della velocità** rimane automaticamente fissato:

•) segno positivo, se il corpo si muove lungo la direzione di moto considerata positiva (perché $S_f > S_i$, quindi sia $\triangle S$ che $\triangle v$ risultano di segno positivo);

•) segno negativo se il corpo si muove in direzione contraria (perché $S_f < S_i$, quindi sia $\triangle S$ che $\triangle v$ sono di segno negativo).

Se ora si considera il **segno algebrico dell'accelerazione**, si possono presentare quattro casi distinti:

1. velocità positiva – accelerazione positiva

L'oggetto si muove lungo la direzione positiva e sta "accelerando", perché il modulo della velocità aumenta: $\longrightarrow v_f > v_i$

2. velocità positiva – accelerazione negativa

L'oggetto si muove lungo la direzione positiva e sta "frenando", perché il modulo della velocità diminuisce: $\longrightarrow v_f < v_i$

3. velocità negativa – accelerazione negativa

L'oggetto si muove lungo la direzione negativa e sta "accelerando", perché il modulo della velocità aumenta: $\longrightarrow v_f > v_i$

4. velocità negativa – accelerazione positiva

L'oggetto si muove lungo la direzione negativa e sta "frenando", perché il modulo della velocità diminuisce: $\longrightarrow v_f < v_i$.

Possiamo così riassumere: *se velocità ed accelerazione hanno segno algebrico concorde, il corpo sta "accelerando". Se il segno è opposto, invece, l'oggetto sta "decelerando".*

11.5 Moto rettilineo uniforme (M.R.U.)

Si definisce **moto rettilineo uniforme** (M.R.U.) *un moto in cui la traiettoria è una retta e il modulo della velocità rimane costante nel tempo.*

In tal caso:

1) il modulo della velocità media e della velocità istantanea coincidono in ogni momento

2) l'accelerazione è nulla.

Secondo la definizione data da Galileo, per un moto rettilineo uniforme vale la seguente proprietà:

"Spazi uguali vengono percorsi in tempi uguali".

Nel seguito consideremo "uniformi" tutti quei tipi di moto (anche con traiettoria non rettilinea) per cui *il modulo della velocità rimane costante.*

Legge oraria

La deduzione algebrica della legge oraria di un moto rettilineo uniforme è ricavabile dalla definizione di velocità, esplicitandone l'equazione rispetto allo spazio percorso S:

$$v_{media} = \frac{\triangle S}{\triangle t} = \frac{S_f - S_i}{t_f - t_i}$$

$$v_{media}(t_f - t_i) = S_f - S_i$$

Poiché il moto è uniforme, la velocità media coincide sempre con la velocità istantanea v: posso quindi sostituire le due grandezze. Inoltre, per comodità di calcolo, è spesso opportuno iniziare a contare il tempo facendo coincidere l'istante iniziale con il valore $t_i = 0$. L'equazione diventa:

$vt_f = S_f - S_i$

Essendo rimasta una sola variabile di tempo, possiamo eliminare il "pedice" e scrivere semplicemente t e S, intendendo con ciò il valore "finale" delle due grandezze. Esplicitando rispetto allo spazio percorso, si ottiene la **legge oraria del moto rettilineo uniforme** nella seguente forma:

$$S = vt + S_i \tag{11.4}$$

Quando è possibile, e ciò avviene nella maggior parte dei casi, è conveniente far coincidere la posizione iniziale da cui si inizia a studiare il moto con l'origine del sistema di riferimento prescelto. In tal caso, $S_i = 0$ e la legge oraria del moto assume una forma ancora più semplice:

$$S = vt \tag{11.5}$$

Grafici orari

Diamo ora una rappresentazione grafica della legge oraria ponendo la variabile tempo sull'asse delle ascisse e lo spazio sull'asse delle ordinate. La curva che si ottiene è quella di una retta del tipo $y = mx + q$ che parte dal punto iniziale $q = S_i$, oppure dall'origine degli assi se lo spazio iniziale è nullo: $q = S_i = 0$.

In modo analogo, mettendo sull'asse delle ordinate il valore della velocità (costante) in funzione del tempo, si ottiene una retta orizzontale del tipo $y = cost$ che rappresenta il grafico velocità-tempo del M.R.U.

E' importante notare come l'analisi dei grafici orari ci permetta di ricavare alcune importanti informazioni sul moto senza usare direttamente la legge oraria, come spiegato di seguito.

Il **coefficiente angolare** m della retta spazio-tempo fornisce il valore (costante) della velocità:

$$m = \frac{\triangle y}{\triangle x} = \frac{\triangle S}{\triangle t} = velocità$$

L'**area della figura delimitata dalla retta velocità-tempo e dall'asse delle ascisse** rappresenta lo spazio percorso dall'oggetto in moto. In questo caso abbiamo un rettangolo di area:

Area sottesa = altezza · base = velocità · tempo = spazio percorso.

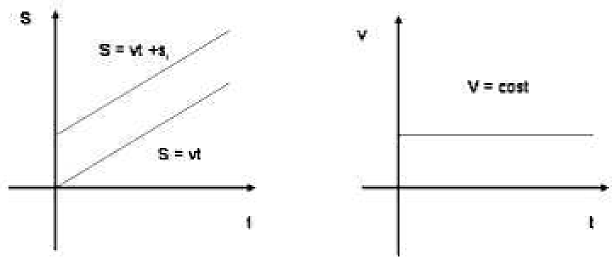

Fig.11.1 - *Grafici orari spazio-tempo (a sinistra) e velocità-tempo (a destra) in un M.R.U.*

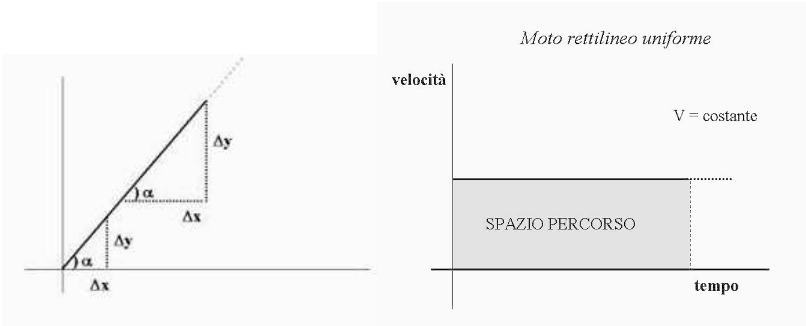

Fig.11.2 - *In un grafico spazio-tempo (a sinistra) il coefficiente angolare della retta fornisce il valore della velocità. In un grafico velocità-tempo (a destra) l'area compresa tra la curva e l'asse delle ascisse dà il valore dello spazio percorso.*

11.6 Moto rettilineo uniformemente accelerato

Si definisce **moto rettilineo uniformemente accelerato** (M.R.U.A.) *un moto la cui traiettoria è rettilinea e la cui accelerazione è costante nel tempo.*

Legge oraria

Quando l'accelerazione è costante avviene che la variazione di velocità è la stessa in eguali intervalli di tempo. Consideriamo un corpo inizialmente fermo che inizia a muoversi con un valore di accelerazione

a = 4 m/s^2.

Ciò vuol dire che la sua velocità aumenta sempre di 4 m/s ogni secondo che passa; cioè, dopo un tempo di 1s, 2s, 3s, e 4s la velocità diventerà pari a 4m/s, 8m/s, 12m/s 16m/s ....

In questo caso (accelerazione costante, quindi velocità che varia sempre delle stesse quantità ogni secondo che passa), e solo in questo caso, la *velocità media* del corpo in moto può essere calcolata come media delle velocità iniziali e finali.

In formule:

$$v_m = \frac{v_i + v_f}{2} \tag{11.6}$$

Il primo passo è quello di scrivere una legge oraria "semplificata" utilizzando l'espressione di velocità media appena introdotta:

$$S = v_m t \tag{11.7}$$

In realtà, tale espressione è in parte insoddisfacente perché in essa non compare in forma esplicita l'espressione dell'accelerazione, che qui ricordiamo:

$$v_f = v_i + at \tag{11.8}$$

Inserendo questa espressione nell'equazione (7), si ha:

$$S = v_m t$$

$$S = \frac{v_i + v_f}{2} \cdot t = \frac{v_i + v_i + at}{2} \cdot t = \frac{2v_i t + at^2}{2} = \frac{2v_i}{2} t + \frac{at^2}{2}$$

Semplificando opportunamente, arriviamo alla **legge oraria del moto rettilineo uniformemente accelerato**:

$$S = v_i t + \frac{1}{2}at^2 \tag{11.9}$$

• **Grafico spazio-tempo:** consideriamo la legge oraria (11.9) nel caso più semplice, cioé con velocità iniziale nulla: $v_i = 0$. Ponendo il tempo sull'asse delle ascisse e lo spazio percorso sull'asse delle ordinate, l'andamento cartesiano del grafico relativo all'equazione $S = \frac{1}{2}at^2$ così ottenuta è quello di una semiparabola (solo tempi positivi).

• **Grafico velocità-tempo**: l'equazione (11.8) è rappresentata dal grafico di una retta di coefficiente angolare m. Se la velocità iniziale è nulla ($v_i = 0$), la retta passa dall'origine, per cui si può facilmente ricavare il valore numerico dell'accelerazione dal *calcolo del coefficiente angolare m.* Inoltre, come per il M.R.U., l'area racchiusa tra la retta e l'asse delle ascisse assume il significato di *spazio percorso.* In particolare, considerando il caso in cui la velocità iniziale sia nulla, l'area é quella di un triangolo rettangolo (per velocità iniziali diverse da zero, si ha invece un trapezio).

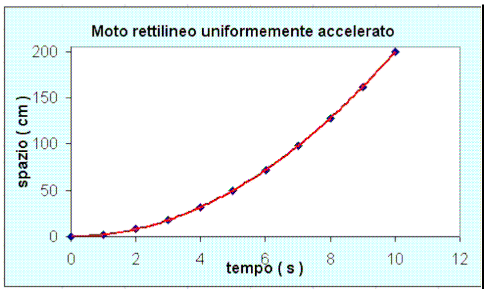

Fig.11.3 - *Grafico orario spazio-tempo del moto rettilineo uniformemente accelerato.*

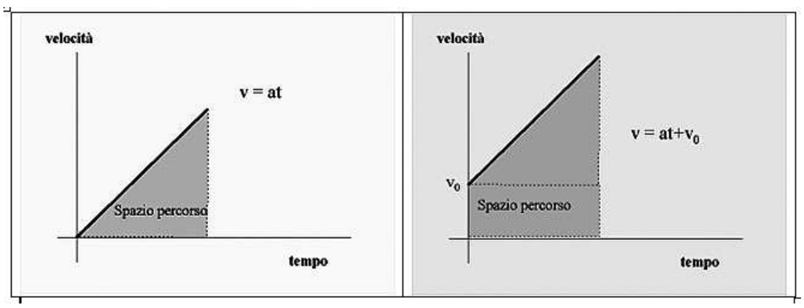

Fig.11.4 - *Grafico orario velocità-tempo di un moto rettilineo uniformemente accelerato con velocità iniziale nulla (a sinistra) e velocità iniziale v_i (a destra). L'area evidenziata in grigio fornisce il valore dello spazio percorso.*

11.7 Un'equazione senza tempo ...

Nella risoluzione di alcuni problemi di cinematica si può arrivare al risultato senza utilizzare la variabile tempo. Consideriamo la legge oraria espressa tramite la velocità media:

$S = \mathrm{v}_{media} \cdot t$

Poiché il moto è rettilineo uniformemente accelerato, posso sostituire alla velocità media la media delle velocità iniziali e finali. Quindi, in questo caso (e solo in questo caso):

$$S = \frac{v_i + v_f}{2} \cdot t$$

Bisogna ora ricordare la definizione di accelerazione espressa dall'equazione (11.3), da cui si può esplicitare il tempo in questo modo:

$$t = \frac{v_f - v_i}{a}$$

Sostituendo nell'equazione precedente e riconoscendo la presenza di un prodotto notevole tra le velocità, otteniamo:

$$S = \frac{1}{2a}(v_f + v_i)(v_f - v_i)$$

Svolgendo il prodotto notevole e riordinando i termini, si arriva all'espressione cercata:

$$2aS = v_f^2 - v_i^2 \tag{11.10}$$

L'insieme delle equazioni (11.6), (11.7), (11.8) ,(11.9) e (11.10) sono quanto serve per risolvere i problemi relativi al moto uniformemente accelerato che affronteremo durante il corso.

11.8 La "velocità media" non è "la media delle velocità"

Abbiamo già precisato all'inizio del paragrafo 11.6 come la velocità media così definita:

$$v_m = \frac{v_i + v_f}{2} \tag{11.11}$$

possa essere usata **solo** nel caso in cui il moto sia uniformemente accelerato, cioé con accelerazione costante.

Sottolineamo ora, con un esempio, come i concetti di *velocità media* e di *valore medio di due velocità* siano profondamente diversi tra loro.

Consideriamo un'auto di Formula 1 che copra 2 giri di un circuito lungo 10 km alla velocità di 100 km/h il primo giro e di 300 km/h il secondo giro.

La *media delle velocità* espressa dalla formula (11.11) fornisce un valore di 200 km/h.

Per il calcolo della *velocità media* bisogna invece dividere lo spazio totale ($\triangle S = 20\,km$) per il tempo totale $\triangle t$ impiegato a coprire tale distanza. A tal fine serve calcolare il tempo impiegato per percorrere ogni singolo giro. Questi valori sono, rispettivamente:

$$\triangle t_{1giro} = \frac{10km}{100km/h} = 0,1h$$

$$\triangle t_{2giro} = \frac{10km}{300km/h} = 0,0333h$$

$$v_m = \frac{\triangle S}{\triangle t} = \frac{10km + 10km}{0,1h + 0,0333h} = \frac{20km}{0,1333h} = 150km/h$$

I due valori, come si può facilmente notare, sono sensibilmente diversi.

11.9 Il moto verticale dei "gravi"

Si chiama **accelerazione di gravità** g l'accelerazione con cui gli oggetti sono naturalmente attratti verso il centro della Terra.

Fu Galileo a definire “gravi” *tutti i corpi in moto vicino alla superficie terrestre* sottoposti, quindi, all’accelerazione di gravità g. Quano il moto avviene lungo una direzione verticale si parla di movimento in “caduta libera”.

Fu sempre Galileo a scoprire che *tutti i corpi, indipendentemente dalla loro massa, forma e dimensione, cadono con la stessa accelerazione*: $g = 9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$.

Questa affermazione, di importanza cruciale, porta alla conclusione che oggetti fondamentalmente diversi, come un sasso e una piuma, se lasciati cadere dalla stessa quota di partenza e con la stessa velocità iniziale, giungono a terra nello stesso istante.

Ora, l’esperienza di ogni giorno sembrerebbe dimostrare proprio il contrario, ma, afferma Galileo, ciò succede perché l’attrito offerto dalla resistenza dell’aria agisce in modo diverso su oggetti dalla forma e dalla massa differente, alterando il loro moto. Se si potesse eseguire l’esperimento, prosegue lo scienziato pisano, in assenza d’aria si arriverebbe al risultato che l’accelerazione di gravità g è la stessa per tutti i corpi.

Il valore di $9{,}81\ \mathrm{m/s^2}$ non è costante in tutti i punti del globo: all’equatore, per via del rigonfiamento della forma della Terra che allontana la superficie dal centro del pianeta, è leggermente minore ed ammonta a $9{,}789\ \mathrm{m/s^2}$, mentre ai Poli risulta essere di $9{,}823\ \mathrm{m/s^2}$. Alla latitudine di Milano (45° Nord) il valore è circa pari a $9{,}806\ \mathrm{m/s^2}$.

Inoltre, alcune piccolissime variazioni possono avvenire localmente su piccola scala per colpa della conformazione geologica del sottosuolo, più denso in certe zone e meno denso in altre, per le diverse concentrazioni nel sottosuolo di graniti, basalti, sabbie, rocce vulcaniche ed altro... L’accelerazione di gravità dipende anche dalla massa e dalle dimensioni del pianeta su cui ci si trova: sulla Luna, ad esempio, essa è 1/6 di quella terrestre: $\mathrm{g_{Luna}} = 1{,}6\ \mathrm{m/s^2}$. Su Marte, più grande della Luna ma di dimensioni minori di quelle del nostro pianeta, essa vale $\mathrm{g_{Marte}} = 3{,}6\ \mathrm{m/s^2}$, mentre su Giove, il maggiore dei pianeti del Sistema Solare, la gravità vale $\mathrm{g_{Giove}} = 23{,}12\ \mathrm{m/s^2}$.

Nell’affrontare i problemi relativi al moto dei gravi bisogna infine tenere presente che, mentre la scelta della direzione positiva di moto è assolutamente arbitraria, il verso dell’accelerazione di gravità è fissato a priori, essendo g un vettore parallelo alla verticale e sempre diretto verso il basso.

Ad esempio; se un oggetto viene lanciato dal basso verso l’alto con velocità iniziale definita positiva, l’accelerazione, essendo diretta verso il basso, assume segno negativo. I due segni algebrici contrari determinano quindi una “decelerazione” del corpo in moto, che è quello che si verifica nella realtà quando esso sale di quota e, rallentando, arriva ad un punto in cui si ferma per poi iniziare a ricadere verso il basso. In questa seconda fase del moto, quella di ricaduta, il verso della velocità e dell’accelerazione sono concordi (entrambi diretti verso il basso) quindi si ha una vera e propria “accelerazione” con un aumento del modulo della velocità (ora di segno negativo, perché diretta verso il basso).

La legge oraria che si ottiene è quella di un normalissimo moto rettilineo uniformemente accelerato con accelerazione a = $-g$ (se la direzione positiva è scelta verso l’alto).

Per cui possiamo scrivere:

$$S = -\frac{1}{2}gt^2 + v_i t \tag{11.12}$$