

usabile[®]

Organizzazione di Volontariato

Onlus di diritto, iscritta al n. 486 (decreto 7921 del 12 giugno 2003) del
Registro Regionale del Volontariato
Via Cosenza, 36 - 88063 Catanzaro Lido (CZ)
C.F. 97042300794
☎ (+39) 0961.31579 - 349.4531015
e-mail: info@usabile.org web: www.usabile.org



SCUOLA MEDIA STATALE "V. VIVALDI"

Via Crotone, 57 - 88063 Catanzaro Lido
Tel. 0961/32470 - fax 0961/31056
e-mail: segreteria@scuolamediavivaldi.191.it
web: www.scuolamediavivaldi.191.it

Cod. Mecc.CZMM013005 - Distretto n. 1 Catanzaro



Regione Calabria - Dipartimento n. 11 Cultura - Istruzione
Università - Alta Formazione - Innovazione Tecnologica

Progetto

Spazio Solidale

Attività divulgativa e formativa delle tecniche razzimodellistiche
in ambito scolastico.



Lezione # 02

Anno scolastico 2005-2006

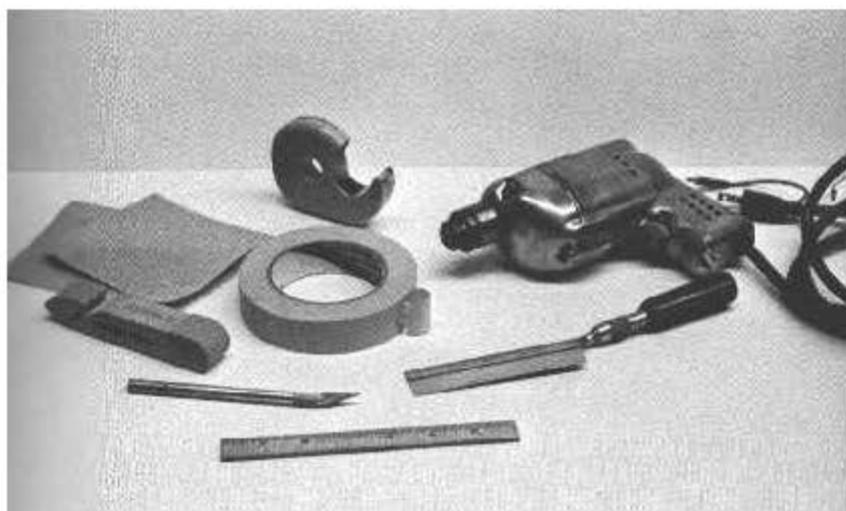
Cos'è il razzimodellismo?

informazioni di base.

Il razzimodellismo è, semplicemente, un hobby appassionante che ha qualche cosa in comune con l'aeromodellismo in quanto utilizza materiali simili e che può essere praticato da persone di ogni età. Si può essere interessati esclusivamente alla costruzione di modelli per il puro piacere di possederli o ci si può appassionare al punto da realizzare dei razzi che in qualche caso riproducono dei missili veri in grado di volare ed essere poi recuperati e riutilizzati. Qualunque sia la ragione per cui ci si avvicina a quest'hobby, sicuramente è richiesto un grande entusiasmo.

Per costruire un modello di razzo, non sono necessarie grandi cose sono sufficienti una normale abilità modellistica e utensili e materiali ormai di uso comune:

- Cutter o tagliabalsa (se possibile, è meglio acquistare un tipo da modellista che, in genere, è fornito di diverse lame intercambiabili). Con quest'utensile il problema di tagliare e sagomare carta e legno di balsa è così risolto;
- Forbici;
- Righello;
- Seghetto a denti fini, è l'ideale per tagliare tubi di carta o piccoli pezzi metallici. Anche questo è reperibile in commercio, a volte anche con svariate lame intercambiabili;
- Nastro adesivo trasparente largo 1-2 cm;
- Nastro adesivo da carrozziere;
- collanti (colla vinilica (meglio se alifatica), epoxy, cianoacrilica (attak);
- vernici per modellismo.
- Pennelli di varie misure e di buona qualità (quelli scadenti perdono i peli). Saranno utili per verniciare, ritoccare e disegnare;
- carta vetrata di grana diversa per lisciare, sagomare e rifinire parti realizzate con carta o legno. Per usare meglio la carta vetrata e poterla utilizzare anche per levigare superfici piane, come gli alettoni, è consigliabile preparare un blocchetto di legno su cui incollarla o inchiodarla.



Gli utensili basilari per costruire il modello di un razzo sono: carta vetrata (con relativo supporto), un coltellino da modellista (tagliabalsa), carta e nastro trasparente adesivi, un righello, un seghetto a denti molto fitti e un trapano.

Chi desidera ampliare la propria attrezzature può procurarsi o acquistare:

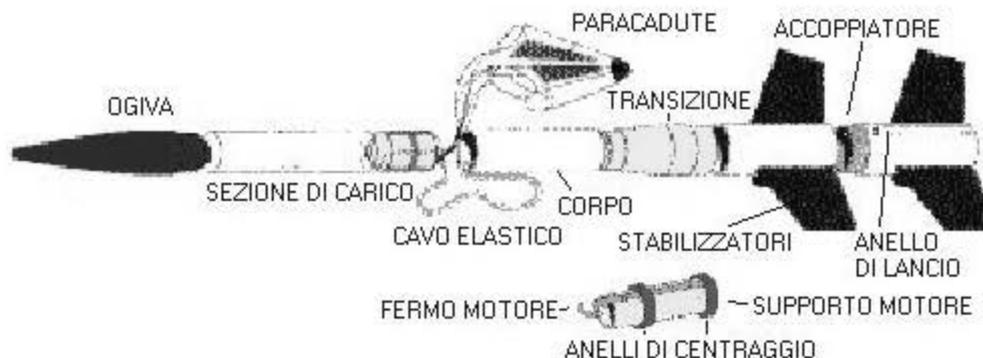
- Un piccolo trapano con mandrino regolabile;
- Serie completa di cacciaviti
- Martello;
- Pinze;
- Tenaglie;
- Tronchesino;
- Morsa;
- Pinzette;
- Riga;
- Saldatore;
- Spilli;
- Un piccolo tornio.

Una volta muniti di questi attrezzi, è praticamente possibile costruire modelli di razzi leggeri e robusti. La leggerezza è necessaria per raggiungere quote sempre più alte senza che il missile possa essere un pericolo nel caso cadesse su qualche proprietà. La robustezza è altrettanto necessaria perché un modello di razzo può essere soggetto a forze di alcune decine di 'g' e velocità di diverse centinaia di km/h.

Note: L'accelerazione di gravità prodotta dal campo gravitazionale terrestre, spesso abbreviata col simbolo 'g' è usata come unità di misura non-SI ed è stata posta uguale al valore convenzionale di $9,80665 \text{ m/s}^2$. Il simbolo è scritto g minuscolo per distinguerlo dalla costante gravitazionale G che compare nelle equazioni di Newton.

Il valore convenzionale di g è un valore medio assunto convenzionalmente che approssima il valore dell'accelerazione di gravità prodotta al livello del mare ad una latitudine di $45,5^\circ$ dalla Terra su un grave lasciato in caduta libera.

Parti del modello



- Tutti i modelli di razzi sono composti dalle parti seguenti;
- Uno o più tubi che costituiscono il corpo;
- Un'ogiva per ridurre la resistenza aerodinamica;
- Stabilizzatori che assicurano la stabilità in volo;
- Un motore per la spinta;
- Un anello di lancio;
- Sistema di recupero (Paracadute o streamer).



Motore

Accenditori

Il cuore di un modello di razzo è il motore. Il motore contiene il propellente necessario al decollo, una sostanza che brucia lentamente per la fase di volo balistico, ed una carica di espulsione del paracadute. I motori sono attivati da un accenditore controllato elettricamente. Questo è un sistema di sicurezza molto importante perché permette di trovarsi ad una distanza di sicurezza al momento del decollo del modello.

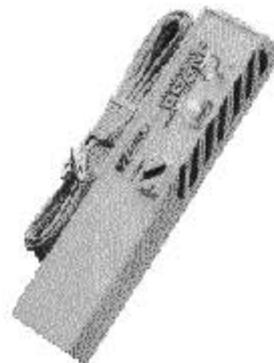
ATTENZIONE: I motori non contengono alcun materiale esplosivo né pirotecnico e sono totalmente innocui.

La Rampa di Lancio

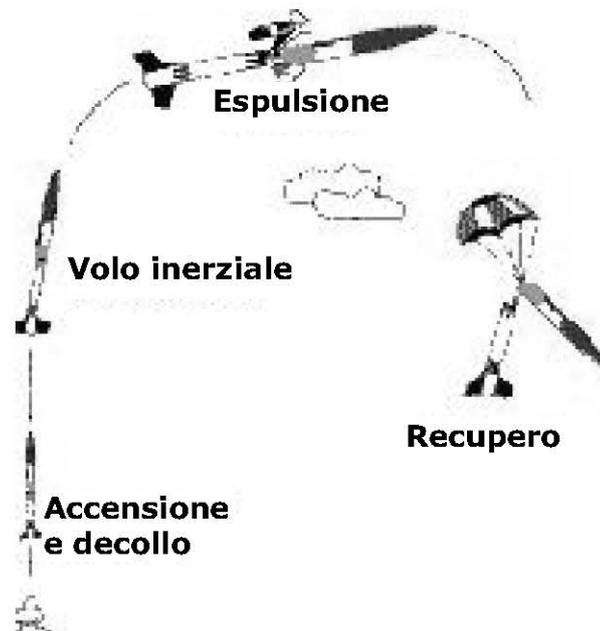


La rampa di lancio fornisce la necessaria stabilità al decollo. Essa consiste in una lunga asta metallica che permette di stabilire la direzione, (lunga almeno 90 cm) ed un deflettore metallico che impedisce ai gas di colpire direttamente il terreno. Entrambi sono montati su un supporto a treppiede. Il modello viene montato sulla rampa inserendo l'asta negli anelli di lancio del modello.

Il Comando di Lancio



Il comando di lancio è un semplice interruttore alimentato a batteria. Un filo va dal comando all'accenditore inserito nel motore. Il comando di lancio ha una spia di continuità che si accende per indicare che il circuito è funzionante, ed una chiave di sicurezza per evitare accensioni accidentali.



Il modello completato viene portato sul luogo del lancio.

- Si prepara la rampa e l'addetto alla sicurezza controlla l'integrità del modello;
- Si inserisce l'accenditore, seguendo le istruzioni accluse al motore;
- Il modello viene montato sulla rampa;
- L'operatore si allontana alla distanza di sicurezza dalla rampa e avverte gli spettatori del lancio imminente;
- L'addetto alla sicurezza inserisce la chiave di sicurezza nel dispositivo di lancio (centralina) e si controlla che la spia di continuità sia accesa (ciò sta ad indicare che la resistenza dell'accenditore è correttamente collegata ed è efficiente);
- Si inizia il conteggio alla rovescia (countdown):

CINQUE...QUATTRO...TRE...DUE...UNO...LANCIO.

- L'operatore o l'addetto al lancio preme il pulsante di lancio ed il modello, dopo qualche secondo, abbandona la rampa e inizia la sua corsa verso il cielo.

Il volo avviene in più fasi. La prima è la fase di spinta. Durante questa fase il motore brucia il suo propellente ed esercita la spinta che fa sollevare il modello. Quando il propellente è esaurito, inizia la fase del volo per inerzia. Il motore è ancora attivo, ma non esercita alcuna spinta ed emette solo fumo che permette di seguire il modello mentre sale per inerzia. Terminata questa fase avviene l'espulsione del sistema di recupero. Questo è di solito un paracadute che permette una lenta discesa del modello, oppure può essere un nastro (streamer) che rallenta la caduta e permette di seguirla visivamente. Il modello si recupera, si inserisce un nuovo motore e si lancia di nuovo.

NOTE: È importante tenere premuto l'interruttore principale di accensione fino a decollo avvenuto, comunque per un tempo di qualche secondo. In caso di mancata accensione (**misfire**) rimuovere la chiave di sicurezza, attendere almeno un minuto dopodiché avvicinarsi prudentemente alla rampa per scoprire il motivo del guasto.

La pressione del pulsante di lancio per un tempo minore di quanto consigliato, sebbene possa comunque provocare l'accensione del motore, è causa potenziale di ulteriori problemi di combustione del motore (ulteriori misfire, CATO, ecc).

CATO: Abbreviazione di *Catastrophically Aborted Take Off*, traducibile come decollo disastroso, di solito dovuto ad un malfunzionamento del motore. Il guasto potrebbe essere dovuto ad un'imperfezione in fase di produzione o di stoccaggio del motore, oltre all'uso improprio da parte del modellista.

Codice di Sicurezza per Modelli di Razzi

Questo codice è approvato in tutti i Paesi del mondo. **Leggetelo** con attenzione e **seguitelo sempre** quando fate volare i vostri modelli: è il modo migliore per condurre l'attività con la massima sicurezza.



NATIONAL ASSOCIATION OF ROCKETRY

Regolamento modelli LPR-MPR con motori fino alla classe G

1. **Materiali:** il modello deve essere costruito con materiali leggeri e non metallici;
2. **Motori:** è consentito solo l'utilizzo di motori certificati e di libera vendita; i motori non devono essere modificati o utilizzati per fini diversi da quanto previsto dal costruttore stesso;
3. **Accensione motori:** il sistema di accensione dei motori deve essere elettrico e deve includere un interruttore o un altro sistema di sicurezza in serie al pulsante di attivazione;
4. **Mancata accensione:** in caso di mancata accensione del motore, il sistema di accensione della centralina deve essere posto in sicurezza mediante l'apposito sistema oppure tramite la disconnessione della batteria. E' necessario quindi aspettare un minuto prima di avvicinarsi al modello;
5. **Sicurezza per il lancio :** è necessario adottare alcune precauzioni al momento del lancio. La distanza di sicurezza dalla rampa sarà di almeno 5 metri per modelli con motori fino alla categoria 'D' e di almeno 10 metri per modelli di classe superiore. La stabilità del modello deve essere verificata prima del lancio e la distanza di sicurezza deve essere rispettata anche da eventuali spettatori. Utilizzare un conto alla rovescia udibile dai partecipanti.
6. **Rampa di lancio:** usare esclusivamente un sistema di lancio che permetta la guida rettilinea del razzo, con una angolazione massima di 30 gradi dalla verticale; il sistema deve prevedere anche un deflettore dei gas di scarico prodotti dal/i motore/i
7. **Dimensioni:** il modello non deve pesare più di 1500 grammi al decollo e il motore non deve contenere più di 125 grammi di propellente o 320 Newton di impulso totale. I motori che non rientrano in questa classificazione sono considerati High Power e prevedono norme specifiche di utilizzo (vedere apposito documento);
8. **Sicurezza per il volo :** assicurarsi che l'area di volo sia libera da aeromobili, volatili o qualsiasi altro ostacolo che possa compromettere il volo libero del modello; il modello non deve avere come carico utile alcun tipo di sostanza infiammabile o esplosiva
9. **Area di lancio:** lanciare esclusivamente all'aperto e in un'area sufficientemente ampia in relazione al tipo di motore utilizzato (consultare la tabella sotto); l'area utilizzata deve essere priva di strade ad accesso pubblico, linee elettriche e abitazioni; non lanciare se il vento supera i 30 Km/ora
10. **Sistema di recupero:** il modello deve utilizzare un sistema di recupero tipo paracadute, nastro o altro che garantisca un atterraggio morbido e lo renda riutilizzabile per un volo successivo; il materiale di protezione del sistema di recupero non deve essere infiammabile;
11. **Recupero del modello:** è vietato recuperare il modello in tutti quei luoghi che possano presentare rischi per la propria incolumità come ad esempio linee elettriche, alberi, tetti, corsi d'acqua etc.

DIMENSIONI DELL'AREA DI LANCIO

Impulso totale del modello (N-sec)	Tipo equivalente di motore	Lato minimo dell'area (mt.)
0.00--1.25	1/4A, 1/2A	15
1.26--2.50	A	30
2.51--5.00	B	60
5.01--10.00	C	120
10.01--20.00	D	150
20.01--40.00	E	300
40.01--80.00	F	300
80.01--160.00	G	300
160.01--320.00	2 G	450

Nozioni di Fisica



*Serie di ritratti di Isaac Newton
(incisione del maggio 1778)*

Le tre leggi della dinamica

Nell'ambito dei suoi studi Newton, ovviamente, non partì da zero. Il primo che si era interessato di gravitazione fu naturalmente Galileo Galilei (1564 - 1642) con i suoi studi sulla caduta dei gravi. Gli studi di Galileo lo portarono a scoprire un fatto sorprendente che contraddiceva la fisica aristotelica: tutti i corpi cadono sulla Terra con la stessa accelerazione e di conseguenza, partendo da medesime altezze essi arrivano al suolo con la stessa velocità e quindi in tempi uguali.

Ovviamente se proviamo a fare l'esperimento con la piuma ed il sasso, è quest'ultimo ad arrivare per primo.

Questo capita perché oltre alla forza di gravità sono presenti altri fattori quali l'attrito. Se l'esperimento viene compiuto in condizioni ideali, allora entrambi i corpi giungono a terra allo stesso tempo. La fisica aristotelica affermava che il corpo di massa maggiore aveva una velocità di caduta superiore a quello di massa minore. Galileo smentì facilmente tale ipotesi. Galileo intuì anche il principio di inerzia, enunciato da Newton nei ***Principia***.

[11]

AXIOMATA
SIVE
LEGES MOTUS

Lex. I.

Corporum motus perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum alium mutare.

Projectilia perseverant in motibus suis nisi quatenus a resisten-
tia aeris retardantur & vi gravitatis impelluntur deorsum.
Trochus, cuius patet colorendo perperam retrahitur sem-
per a motibus resistens, non ostendit motum nisi quatenus ab aere re-
tardatur. Majora sunt Planetarum & Cometarum corpora ma-
trem finem & projectivum & circulum in spatio minus resisterebus
fictis conficiunt dicitur.

Lex. II.

*Mutatio motus proportionalis est vi aëris impressæ, & fieri fo-
candus hinc refertur per sui esse copiam.*

Si vis aliqua motum quatuor generes, duplo duplum, tripla tri-
plum quadruplo, sex semel & semel, ibi gradum & facillime in-
gressi fuerit. Et hic motus quatuor in eodem semper plures
cum vi generatice determinatur, si copiamque movetur, mo-
tus ejus vel contrarietate, vel contrario subditur, vel obli-
quo oblique adjectis, & cum eo locustem utriusque determinatio-
nem componit.

Lex. III.

Dallo studio dei testi di Galileo e di Cartesio Newton enunciò le tre leggi della meccanica, con cui si aprono i Principia.

1ª legge o principio d'inerzia

Ogni corpo permane nel suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme e a meno che non sia costretto a mutare tale stato da forze impresse

2ª legge

$$F = m \cdot a$$

dove "F" è la forza impressa ad un corpo, "m" la sua massa ed "a" l'accelerazione impartita al corpo.

3ª legge o principio di azione e reazione

Ad ogni azione ne corrisponde una uguale e contraria.

Il testo di Newton continua con tutta una serie di dimostrazioni di teoremi di geometria e di definizioni che lo stesso Newton utilizza per dimostrare la dipendenza della forza attrattiva dal quadrato della distanza tra i due corpi. Newton aveva dimostrato tale dipendenza in modo analitico ma era stato "costretto" ad inventarsi una sua matematica per tale dimostrazione. La matematica che inventa Newton ora noi la chiamiamo "calcolo differenziale" e si studia in genere nell'ultimo anno di scuola superiore. Tuttavia nei Principia Newton non può pretendere di dimostrare tale legge con la sua nuova matematica così che la dimostrazione è geometrica.

LE LEGGI DEL MOTO DI NEWTON

LE TRE LEGGI DEL MOTO DI NEWTON ESPRIMONO IL LEGAME CHE ESISTE TRA L'ACCELERAZIONE E LA SUA CAUSA, LA FORZA.

<p>IL NEWTON</p>	<p>E' la forza che, applicata a un corpo di massa pari a un chilogrammo, gli imprime un'accelerazione di un metro al secondo quadrato.</p> <p>$F = ma \text{ Kg}\cdot\text{m}/\text{sec}^2$</p>
<p>PRIMA LEGGE DI NEWTON</p>	<p>Un corpo non soggetto ad alcuna forza, o soggetto a forze la cui risultante è nulla, persevera il suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme. Un esempio della prima legge di Newton è il "tiro alla fune": se la squadra "a" esercita sulla fune una forza di intensità maggiore di quella della squadra "b" la fune accelera dalla parte della squadra "a". Se le due squadre esercitano sulla fune due forze uguali, la fune non è soggetta ad alcuna forza non equilibrata.</p>
<p>SECONDA LEGGE DI NEWTON</p>	<p>L'accelerazione di un corpo è direttamente proporzionale alla forza risultante agente sul corpo e inversamente proporzionale alla massa del corpo. Un esempio della seconda legge di Newton è quello di un calciatore che tira in porta: quanta più forza esercita sul pallone, tanto più rapidamente varia la velocità del pallone; ossia, quanto maggiore è la forza esercitata, tanto maggiore è l'accelerazione.</p> <p>$F = ma$</p>
<p>TERZA LEGGE DI NEWTON</p>	<p>Se un corpo esercita una forza su un altro corpo, questo esercita sul primo una forza uguale e contraria. Un esempio della terza legge di Newton quello della palla da bowling: se noi esercitiamo una piccola forza sulla boccia, questa esercita una piccola forza su di noi.</p>
<p>INERZIA</p>	<p>E' la tendenza di un corpo a rimanere in quiete se è in quiete, a continuare a muoversi di moto rettilineo uniforme, se è in moto. Si dice perciò che un corpo di massa maggiore ha più inerzia di un corpo di massa minore.</p>
<p>MASSA</p>	<p>La massa di un corpo è la quantità di materia presente nel corpo.</p>
<p>PESO</p>	<p>Il peso di un corpo è la forza gravitazionale che agisce su quel corpo.</p>

Dinamica

Per studiare le cause del moto, bisogna introdurre due nuove grandezze, la **forza** e la **massa**. A livello intuitivo, la forza può essere considerata una spinta o una tensione, che si manifesta provocando deformazione o accelerazione. Sul primo effetto è basato il principio di funzionamento del **dinamometro**, che sfrutta la relazione di proporzionalità diretta tra la forza applicata a una **molla** e il suo conseguente allungamento. Detta **F** la forza e **x** l'elongazione, la relazione utilizzata per la misura indiretta della forza è:

$$F = kx$$

dove **k** è la costante elastica della molla.

Forza

In fisica, qualunque azione che alteri lo stato di moto o che produca una deformazione del corpo su cui agisce. La forza è un **vettore**, cioè una grandezza dotata di intensità, direzione e verso. Nel caso in cui più forze siano applicate a un corpo, il moto di questo è determinato dalla risultante delle forze agenti, che può essere calcolata come somma vettoriale delle singole forze. In virtù del secondo principio della dinamica, tale risultante è uguale al prodotto della **massa** del corpo per la sua **accelerazione**. Di conseguenza se una stessa forza è applicata a due corpi di massa diversa, quello con massa maggiore acquista un'accelerazione minore.



La prima legge di Newton afferma che un oggetto non soggetto a forze rimane fermo o al più si muove con velocità costante. Un libro posato su un tavolo è sottoposto a due forze: una diretta verso il basso, dovuta alla gravità, e l'altra diretta verso l'alto, dovuta alla presenza del tavolo (reazione vincolare). Poiché le due forze hanno uguale intensità ma verso opposto, la risultante è nulla e il libro rimane fermo.

Sono possibili due descrizioni dell'azione di una forza: possiamo pensare che essa avvenga per azione diretta di un oggetto o per azione di un campo di forze. Queste due descrizioni sono equivalenti dal punto di vista teorico, sebbene spesso una delle due risulta più conveniente dell'altra; ad esempio, il moto di caduta libera di una palla viene studiato come moto dovuto alla presenza del campo gravitazionale, così come le interazioni tra cariche elettriche sono associate alla presenza del campo elettrico.

Se la risultante delle forze applicate a un corpo è nulla, il corpo rimane fermo o al più si muove in linea retta e con velocità costante. Ad esempio, se una persona spinge un carrello con una forza che eguaglia la forza di attrito, la somma vettoriale delle forze applicate risulta nulla e il carrello, non soggetto a forze, si muove di moto rettilineo uniforme.

Nel *Sistema Internazionale*, l'unità di misura della forza è il **newton (N)** che è definito come la forza necessaria per imprimere a un corpo di massa pari a **un kg** un'accelerazione di **1 m/sec²**.

Massa (fisica)

Grandezza fisica che esprime sia l'attitudine di un corpo a opporsi alle variazioni del suo stato di quiete o di moto (cioè fornisce una misura dell'inerzia), sia la sua caratteristica di essere sottoposto alla forza di gravità.

Esistono due tipi di massa, la cui definizione deve essere ricondotta a due principi fisici differenti. La massa inerziale è definita in base alla seconda legge di Newton (**$F = ma$**), come la costante di proporzionalità tra la forza applicata a un corpo e l'accelerazione che esso acquista per effetto di tale forza. Essa esprime quindi l'inerzia di un corpo, cioè una forma di "resistenza" che il corpo stesso offre all'azione di cause che possono alterare il suo stato dinamico (a parità di forza applicata, maggiore è la massa, minore è l'accelerazione impressa al corpo).

La massa gravitazionale è invece definita in base alla legge di gravitazione universale ($F = GmM/R^2$), secondo cui due corpi aventi masse uguali rispettivamente a m e M interagiscono per mezzo di una forza attrattiva di intensità direttamente proporzionale al prodotto delle due masse e inversamente proporzionale al quadrato della loro distanza. Questa legge si applica al moto dei pianeti (e costituisce la giustificazione teorica delle leggi che regolano il moto planetario), così come a un corpo in caduta libera sulla superficie terrestre.

Per ogni corpo, la massa gravitazionale coincide con quella inerziale, e l'equivalenza tra le due masse diviene di estrema importanza nella teoria della **relatività** generale formulata da **Albert Einstein**. Un contenuto fondamentale della teoria della relatività è anche l'equivalenza tra massa ed energia, che non ha conseguenze nell'ambito della fisica classica ma diviene molto importante nell'ambito della fisica moderna. La relatività ristretta infatti prevede che la massa di un corpo vari con la velocità del corpo stesso e che lo scostamento tra il valore della massa a riposo (la massa del corpo in quiete) e quello della massa in moto divenga apprezzabile quando la velocità si approssima a quella della luce nel vuoto, cioè a 300.000 km/s. A tali velocità, che sono proprie delle particelle prodotte nelle reazioni nucleari, la massa può essere convertita in energia e viceversa secondo la celebre equivalenza di Einstein $E = mc^2$.

Concetto di Massa

La **massa** è una proprietà fisica intrinseca in un corpo e indipendente da ciò che la circonda e dal metodo adoperato per misurarla. In termini semplici, misura la quantità di **materia** contenuta in un corpo. La massa è un concetto centrale della meccanica classica e delle materie ad essa correlate. L'unità di misura della massa nel **Sistema Internazionale** è il **chilogrammo**.

In senso stretto, il termine massa si riferisce a due quantità:

- La *massa inerziale* è la misura dell'**inerzia** di un corpo, che è la resistenza al cambiamento dello stato di movimento quando viene applicata una **forza**. Un corpo con massa inerziale piccola cambia il suo movimento più prontamente, e un corpo con massa inerziale alta reagisce più lentamente.
- La *massa gravitazionale* è la misura della forza di interazione di un corpo con la **forza gravitazionale**. All'interno dello stesso campo gravitazionale, un corpo con massa gravitazionale piccola sperimenta una forza minore di quella di un corpo con massa gravitazionale grande. La massa gravitazionale è proporzionale al peso, ma mentre quest'ultimo varia a seconda del campo gravitazionale, la massa resta costante.

Misurazione della massa

La massa si misura in chilogrammi secondo il **Sistema Internazionale**.

Per un fisico, il chilogrammo è l'unità di massa, ma nell'uso comune "chilogrammo" è un'abbreviazione per "il peso di un corpo di un chilogrammo di massa a livello del mare sulla terra".

Tramite la legge di caduta dei gravi, Galileo iniziò a poter stimare la misurazione della massa. Questa legge è stata posta alla base della meccanica, come legge empirica fondamentale, ancor prima che venisse chiaramente enunciato il secondo principio della dinamica.

Massa Inerziale

La massa inerziale viene determinata dalla **seconda** e dalla **terza legge** della **dinamica**.

Dalla seconda legge ricaviamo subito che la massa è una costante di proporzionalità tra la **forza** risultante e l'**accelerazione** di un corpo. Quindi la massa è ciò che si oppone alla variazione della **velocità**.

Per la **terza legge**, invece, arriviamo alla massa secondo tale strada: dato un corpo con massa inerziale conosciuta, possiamo ottenere la massa inerziale di un secondo corpo, facendo sì che i due esercitino una forza l'uno sull'altro. In base alla terza legge di Newton, le forze sperimentate dai due corpi avranno pari intensità. Questo ci permette di studiare come i due corpi resistono all'applicazione di forze simili.

È a volte utile trattare la massa di un corpo come variante nel tempo: ad esempio, **la massa di un razzo, decresce con il consumo del combustibile**. Comunque, questa è un'approssimazione basata sulla non considerazione delle parti di materia che entrano o escono dal sistema. Nel caso di un razzo queste parti corrispondono al propellente espulso; se potessimo misurare la massa del razzo e del suo propellente espulso, troveremmo che **la somma delle masse corrisponde alla massa iniziale**.

Inerzia

Proprietà intrinseca della materia di opporsi a qualunque cambiamento del proprio stato di quiete o di moto. Dal punto di vista teorico questa proprietà è descritta dal **primo principio** della dinamica, detto anche **principio d'inerzia**, introdotto da Galileo e successivamente riformulato da **Newton**; esso afferma che un oggetto conserva il proprio stato di quiete o di moto a meno che non intervenga una causa esterna (una forza) a modificarlo o, in altre parole, un oggetto, non soggetto a forze esterne, rimane in quiete o si muove di moto rettilineo uniforme. Un esempio classico in cui avvertiamo l'effetto dell'inerzia del nostro corpo è la forza che sperimentiamo su un'automobile che accelera o frena, oppure durante una curva piuttosto stretta.

Qualunque corpo in rotazione intorno a un asse, come un volano, presenta un'inerzia rotazionale, cioè una resistenza a cambiare sia la velocità di rotazione sia la direzione dell'asse. Per modificare i valori di queste grandezze è necessario applicare una forza tanto più intensa tanto maggiore è l'inerzia del corpo. Il volano, proprio a causa del suo alto momento d'inerzia, viene impiegato nelle macchine motrici e operatrici per regolarizzare e rendere continua l'erogazione di potenza a impulsi del motore.

Il **secondo principio** di Newton afferma che una forza applicata a un corpo gli imprime un'**accelerazione** a essa proporzionale, e in particolare, che l'intensità della forza è pari al prodotto della **massa** inerziale dell'oggetto per l'accelerazione che esso acquista. Così, se un corpo ha massa maggiore di un altro, sarà necessaria una forza più intensa per imprimergli uguale accelerazione. Il valore della massa gravitazionale fornisce quindi la misura dell'inerzia di un corpo.

Velocità

Grandezza fisica che esprime la rapidità con cui varia la posizione di un corpo in moto lungo una determinata direzione. La velocità è rappresentata da un vettore, quindi è specificata da intensità, direzione e verso. Quando il moto è uniforme, la velocità è costante e si determina semplicemente dividendo lo spazio percorso per il tempo impiegato a percorrerlo. Se invece il moto è accelerato, il vettore velocità varia istante per istante; in questo caso la "velocità istantanea" viene calcolata come rapporto tra la variazione di posizione e l'intervallo di tempo purché quest'ultimo sia di ampiezza infinitesima, o comunque sufficientemente breve perché la velocità possa essere considerata costante all'interno di esso. *Vedi anche Meccanica.*

Accelerazione

Definita anche come accelerazione lineare, è la variazione della **velocità** di un corpo nell'unità di tempo. La velocità è una grandezza vettoriale, cioè specificata da intensità, direzione e verso; ne segue che un corpo possiede un'accelerazione non nulla, ovvero accelera, se varia l'intensità della velocità o la direzione del moto, oppure in generale se variano entrambe queste grandezze. Un oggetto non sottoposto a forze e libero di cadere sulla superficie terrestre possiede, per effetto della forza di **gravità**, un'accelerazione costante e diretta verso il basso. Supponiamo, invece, di legare un corpo all'estremità di una corda e di vincolarlo a muoversi con velocità costante lungo una traiettoria circolare, impugnando l'estremità libera; allora l'accelerazione è uniforme e diretta lungo la corda, verso il centro della circonferenza.

Si dice che un oggetto decelera, cioè possiede un'accelerazione negativa, quando la sua velocità diminuisce nel tempo.

Perché un oggetto acceleri è necessario che a esso sia applicata una forza; in accordo col secondo principio della dinamica, inoltre, l'accelerazione è direttamente proporzionale alla forza applicata (*Vedi Meccanica*); ad esempio un corpo in caduta libera sulla superficie terrestre accelera perché soggetto alla forza di gravità.

L'accelerazione angolare è definita come variazione della velocità angolare nell'unità di tempo e deve pertanto essere distinta dall'accelerazione lineare. La velocità angolare di un corpo che ruota è la misura in radianti al secondo della rapidità di rotazione intorno a un fissato asse. Un cambiamento della velocità di rotazione o della direzione dell'asse dà luogo a una variazione della velocità angolare e quindi a un'accelerazione angolare diversa da zero.

Meccanica

Ramo della **fisica** che studia il comportamento di sistemi sottoposti all'azione di **forze**. L'impostazione moderna di questa disciplina prevede che la descrizione del moto dei corpi si basi su grandezze fondamentali rigorosamente definite, quali lo spostamento, il **tempo**, la **velocità**, l'**accelerazione**, la **massa** e la **forza**.

Cinematica

La cinematica è quel ramo della meccanica che si occupa di descrivere il **moto dei corpi** a prescindere dalle cause che lo producono. La descrizione cinematica del moto si basa sui due concetti fisici di **velocità** e **accelerazione**. La velocità è una grandezza vettoriale (quindi specificata da intensità, direzione e verso), definita come il rapporto tra la distanza percorsa in una certa direzione e l'intervallo di tempo impiegato. L'accelerazione rappresenta invece il ritmo a cui varia la velocità, ed è definita come il rapporto tra la variazione di velocità e l'intervallo di tempo in cui si verifica tale variazione.