I.P. G. Marconi - PRATO

Fisica

Classi seconde
Manutenzione e assistenza tecnica

prof.ssa Carla Tarchi

MODULO 1

Grandezze fisiche ed errori

- Le grandezze fisiche e la loro misura
- Le incertezze sperimentali

1.1 - LE GRANDEZZE FISICHE E LA LORO MISURA

La Fisica studia i fenomeni che avvengono in natura, e li descrive attraverso le "Grandezze fisiche", utilizzando il "Metodo sperimentale".
GRANDEZZA FISICA è una proprietà che può essere misurata.
MISURARE una grandezza significa confrontarla con l'unità di misura e dire quante volte sta nella grandezza.
UNITA' DI MISURA è un campione scelto come riferimento.

SISTEMA INTERNAZIONALE (S.I.)

È un insieme di unità di misura usato per legge da 60 stati del mondo (più 42 associati).
Ci sono 7 grandezze fondamentali, per le quali esiste un campione di unità di misura, mentre tutte le altre sono ricavate da queste 7 attraverso formule (grandezze derivate).

GRANDEZZA FISICA	UNITA' DI MISURA	SIMBOLO
Lunghezza	metro	m
Massa	kilogrammo	kg
Intervallo di tempo	secondo	s
Intensità di corrente	Ampère	A
Temperatura	Kelvin	K
Intensità luminosa	candela	cd
Quantità di sostanza	mole	mol

Tab. 1 – Unità fondamentali del Sistema Internazionale

Le unità di misura possono essere precedute da prefissi, che indicano i multipli e i sottomultipli (vedi tabella 2).

Prefisso	Simbolo	Multiplo	Prefisso	Simbolo	Sottomultiplo
Tera	T	10^{12}	milli	m	10^{-3}
Giga	G	10^{9}	micro	μ	10^{-6}
Mega	M	10^{6}	nano	n	10^{-9}
kilo	k	10^{3}	pico	p	10^{-12}

Tab. 2 – Multipli e sottomultipli delle unità di misura

POTENZE DI 10 – NOTAZIONE SCIENTIFICA – ORDINE DI GRANDEZZA

La notazione scientifica serve per scrivere, confrontare e calcolare numeri molto grandi o molto piccoli. Ogni numero si scrive come prodotto fra un numero da 1 a 10 e una potenza di 10.
Esempi:
$0{,}0075 = 7{,}5 \cdot 10^{-3}$
$1400000000 = 1{,}4 \cdot 10^{9}$
L'**ordine di grandezza** di un numero è la potenza di 10 più vicina a quel numero.

POTENZE DI 10

$10^{9} = 1000000000$	$10^{-1} = 0{,}1$
$10^{6} = 1000000$	$10^{-2} = 0{,}01$
$10^{3} = 1000$	$10^{-3} = 0{,}001$
$10^{2} = 100$	$10^{-6} = 0{,}000001$
$10^{1} = 10$	$10^{-9} = 0{,}000000001$

MASSA – VOLUME – DENSITA'

La **massa** è la quantità di materia contenuta in un corpo e si misura in kg.
Il **volume** è lo spazio occupato dal corpo e si misura in m^3.
La **densità** (o massa volumica) è il rapporto fra la massa e il volume e si misura in kg/m^3:

$$\mathbf{d = m / V}$$

Nella tabella seguente sono riportate le densità di alcune sostanze:

Sostanza	Densità (kg/m^3)	Sostanza	Densità (kg/m^3)
Ferro	7880	Ghiaccio	920
Alluminio	2700	Acqua distillata	1000
Oro	19600	Acqua marina	1020
Argento	10500	Alcol etilico	800
Rame	8900	Olio d'oliva	920
Piombo	11300	Benzina	734
Mercurio	13600	Aria	1,29

Tab. 3 – Densità di alcune sostanze (a 0°C e a pressione atmosferica normale)

1.2 – LE INCERTEZZE SPERIMENTALI

CARATTERISTICHE DEGLI STRUMENTI DI MISURA

PORTATA: massimo valore che lo strumento può misurare.
SENSIBILITA': minimo valore che lo strumento può rilevare.

INCERTEZZA DELLE MISURE

Il risultato di una misura contiene sempre un'incertezza, che proviene da due cause:

1. la prima limitazione di una misura è la **sensibilità** dello strumento;
2. nel fare una misura si compiono sempre degli **errori**, che possono essere **sistematici** o **casuali**.

1. Errore di sensibilità

Misurando direttamente una grandezza, si indica come risultato il **valore medio** della divisione e come incertezza la metà della larghezza della divisione (o la divisione intera se è molto piccola). Questa incertezza si chiama **errore assoluto** della misura.

Esempio:
6,3 cm < L < 6,4 cm
valore medio = 6,35 cm
errore assoluto = $\frac{6{,}4 - 6{,}3}{2} = 0{,}05$ *cm*

Risultato della misura:
Lunghezza = valore medio ± errore assoluto
L = (6,35 ± 0,05) cm

2. Errori sistematici ed errori casuali

Gli *errori sistematici* si ripetono sempre nello stesso senso (esempi: un metro allungato, un cronometro che va avanti, l'azzeramento inesatto della scala, ecc.) e quindi *possono essere eliminati*.
Gli *errori casuali* invece sono piccoli ma imprevedibili e fanno oscillare il risultato qualche volta in più qualche volta in meno. Questi errori *non possono essere eliminati*.
Si fanno allora misure ripetute, e si calcola il loro **valore medio**:

$$\textbf{valore medio} = \frac{\textbf{somma delle misure}}{\textbf{numero delle misure}}$$

Si calcola poi l'**errore assoluto**:

$$\textbf{errore assoluto} = \frac{\textbf{valore massimo – valore minimo}}{\textbf{2}}$$

Esempio:
Misure di tempo:
14,6 s 14,7 s 14,4 s 14,6 s 14,5 s 14,3 s

valore medio $= \dfrac{14,6+14,7+14,4+14,6+14,5+14,3}{6} = 14,5\ s$

errore assoluto $= \dfrac{14,7-14,3}{2} = 0,2\ s$

Risultato della misura:
Tempo = valore medio ± errore assoluto
t = (14,5 ± 0,2) s

Errore relativo

L'errore assoluto non dà molte indicazioni sulla precisione della misura, perché l'incertezza può essere grande o piccola rispetto alla misura fatta.

Si calcola allora l'**errore relativo**:

$$\textbf{errore relativo} = \frac{\textbf{errore assoluto}}{\textbf{valore medio}}$$

È utile esprimere l'errore relativo in **percentuale**:

$$\textbf{errore relativo percentuale} = \frac{\textbf{errore assoluto}}{\textbf{valore medio}} \times 100$$

Nell'esempio precedente:

errore relativo = 0,2 / 14,5 = 0,014 *errore relativo percentuale = 0,014 x 100 = 1,4 %*

LE CIFRE SIGNIFICATIVE

Quando scriviamo il risultato di una misura indichiamo solo le cifre che abbiamo misurato, fino alla cifra su cui cade l'incertezza.

→ *Si dicono **cifre significative** di una misura le cifre certe e la prima cifra incerta.*

Esempi:

numero	*n° di cifre significative*
13	2
21,3	3
21,30	4
0,05	1
400,25	5

Come si vede lo zero è una cifra significativa quando è alla fine del numero (21,30), ma non è significativa quando è all'inizio (0,05).

Arrotondare un numero significa sostituirlo con un altro con meno cifre significative.

Per esempio arrotondiamo a due cifre significative il numero 1,52, che ne ha tre.

1,52 → 1,5

Se la prima cifra che si cancella è fino a 4 l'ultima cifra resta uguale.

Se la prima cifra che si cancella è maggiore o uguale a 5 si aumenta di 1 l'ultima cifra.

Così 78,2 diventa 78, mentre 51,06 diventa 51,1.

Esercizi

MODULO 1

1.1 - LE GRANDEZZE FISICHE E LA LORO MISURA

1 Completa le equivalenze:

12 mm = ……… cm
100 μm = ……… m
5 hm = ……… km
20000 km = ……… Mm
8000 nm = ……… m

2 Completa le equivalenze:

10 mg = ……… cg
3 cs = ……… s
1000 MW = ……… W
3600 g = ……… kg
1,3 V = ……… mV

3 Completa le equivalenze:

700 cm^3 = ……… m^3
0,25 m^3 = ……… dm^3
7500 cm^2 = ……… m^2
0,4 m^2 = ……… mm^2

4 Converti in notazione scientifica:

4200000 = …………
0,00000025 = …………
75000 = …………
0,0014 = …………

5 Trasforma in notazione ordinaria:

$3,27 \cdot 10^{-3}$ = …………
$8,745 \cdot 10^{7}$ = …………
$2,4 \cdot 10^{5}$ = …………
$5,03 \cdot 10^{-4}$ = …………

6 Completa le equivalenze, utilizzando le potenze di 10:

10^{10} μg = ……… kg
10^{-5} m = ……… μm
5 μA = ……… A
10 mV = ……… V
2 m^2 = ……… mm^2

7 Quante piastrelle di forma quadrata di lato 20 cm occorrono per rivestire il pavimento di una stanza rettangolare larga 6 m e lunga 5 m?

[750]

8 Le dimensioni di una scatola da scarpe sono: 21,0 cm, 11,2 cm, 10,5 cm. Trova il volume in cm^3 e in m^3, esprimendolo con le potenze di 10.

[$2,47 \cdot 10^3$ cm^3]

9 Una bottiglia di acqua minerale ha un volume di 1,5 l. Ricordando che un litro corrisponde a ……, calcola quante bottiglie servono per riempire una vasca di 3 m^3.

[2000]

10 Un corpo di massa 10 kg occupa un volume di 2000 cm^3. Trova la densità in unità SI.

11 Sappiamo che la densità dell'acqua è 1000 kg/m^3. Qual è la massa di 1 cm^3 di acqua? E di 1 l?

12 Calcola la massa di un cubetto di ghiaccio di lato 3,1 cm.

[27,4 g]

13 Qual è il volume occupato da 5 kg di olio?

1.2 – LE INCERTEZZE SPERIMENTALI

1 La lancetta di una bilancia si sposta di 10 divisioni misurando una massa di 200 g. La scala è divisa in 30 intervalli. Qual è la sensibilità? Qual è la portata?

2 Completa la tabella con i dati di tre strumenti di uso quotidiano:

strumento	*portata*	*sensibilità*
Termometro da parete		
Bilancia da cucina		
Manometro della caldaia		

3 Con un cronometro elettronico si misura un tempo di 9,97 s. Qual è la sensibilità dello strumento? Come si scriverebbe il risultato della misura se la sensibilità fosse di un decimo di secondo?

4 L'intervallo di misura della lunghezza L di un tavolo dà come risultato 1,25 m < L < 1,27 m. Scrivi correttamente il risultato della misura, nella forma (……± ……) m.

5 Ripetendo più volte la misura del volume di un liquido si ottengono i risultati seguenti:
10,1 ml
10,4 ml
10,4 ml
10,3 ml
10,5 ml
Esprimi il valore della misura con il suo errore.

6 Quali sono l'errore assoluto e l'errore relativo percentuale in ciascuna delle seguenti misure? Quale delle due è più precisa?

$L = (35{,}3 \pm 0{,}1)\ cm$

$t = (800 \pm 1)\ s$

7 In una misura di massa è stato calcolato un valore medio di 42,531 g e un errore assoluto di 0,21 g. Esprimi la massa e il suo errore con il corretto numero di cifre significative.

8 È stata eseguita una serie di misure i cui valori sono i seguenti:
7,21 s
7,22 s
7,21 s
7,25 s
7,26 s.
Calcola valore medio, errore assoluto ed errore relativo percentuale. L'errore assoluto è maggiore o minore della sensibilità dello strumento utilizzato?

MODULO 2

Le forze
e l'equilibrio dei solidi

- Le forze
- I vettori
- L'equilibrio dei solidi

2.1 - LE FORZE

Una forza applicata a un corpo modifica la sua velocità *(effetto dinamico)*.
Una forza può fare equilibrio ad altre forze *(effetto statico).*

- *L'unità di misura* delle forze nel Sistema Internazionale è il **Newton (N).**

1 Newton è la forza di gravità con cui la Terra attrae un corpo di massa 102 g.

Lo strumento di misura delle forze è il **dinamometro**. Si tratta di una molla che si allunga in relazione alla forza applicata.

IL PESO E LA MASSA

Tutti i corpi sulla Terra subiscono la forza-peso. Poiché il peso è una forza, deve essere misurato in Newton. Siamo invece abituati a esprimerlo in kg, come se si trattasse della massa. Chiamiamo kilogrammo-forza il peso (forza di gravità) della massa di 1 kg sulla Terra. Si ha quindi:

$$\mathbf{1\ N = 102\ g_f} \qquad \mathbf{1\ kg_f = 9{,}8\ N}$$

Teniamo sempre presente però che massa e peso sono grandezze diverse:

- Il peso è la forza di gravità e varia da luogo a luogo. Si misura con il dinamometro.
- La massa è la quantità di materia contenuta in un corpo ed è la stessa in ogni luogo. Si misura con la bilancia a due piatti.

La confusione che spesso facciamo fra massa e peso è dovuta a una proprietà caratteristica della gravità: la Terra attrae di più le masse più grandi e di meno le masse più piccole, in modo che

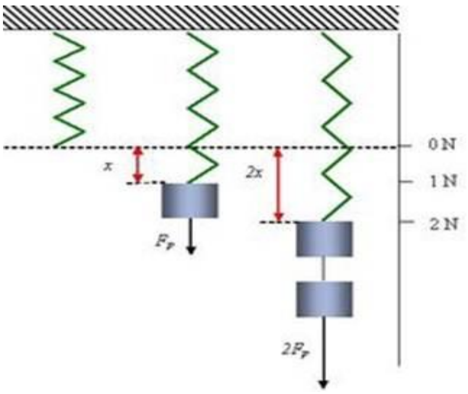
- *in uno stesso luogo massa e peso sono direttamente proporzionali*

Così una bilancia pesapersone, che è in realtà un dinamometro, può essere tarata in modo da indicare la massa in kg, ottenuta dividendo il peso in N per 9,8.

LA FORZA ELASTICA

Il **dinamometro** è una molla con una scala graduata associata, che è costruita in base alla *legge degli allungamenti elastici* (**legge di Hooke**):

- l'allungamento della molla è direttamente proporzionale alla forza applicata (fig.1):



$$F = k \cdot \Delta l$$

F = forza [N]
Δl = allungamento = $l - l_0$ [m]
k = costante elastica della molla [N/m]

Una molla che viene deformata reagisce con una forza uguale e opposta, che tende a riportarla nella posizione iniziale. Se però la forza applicata è troppo grande, la molla resta deformata e non segue più la legge di Hooke. Si dice che sono stati superati i *limiti di elasticità*.

fig.1

L'ATTRITO

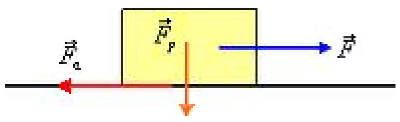
Ogni volta che le superfici di due corpi vengono a contatto nasce una **forza di attrito**. Ne esistono di tre tipi diversi:

1. **attrito radente**: si esercita fra due superfici che strisciano fra loro
2. **attrito volvente**: compare quando un corpo rotola su una superficie
3. **attrito viscoso**: si ha quando un corpo si muove in un fluido (per esempio aria o acqua)

La forza di attrito è sempre diretta in senso contrario al movimento (fig.2).
L'attrito radente è dovuto alle irregolarità delle superfici a contatto, sempre presenti anche se microscopiche. Quando un blocco di materiale scivola su un piano orizzontale, la forza di attrito radente F_R ha le seguenti proprietà:

1. direzione parallela al piano;
2. verso opposto al moto;
3. intensità direttamente proporzionale al peso del blocco:

$$\boldsymbol{F_R = \mu \cdot F_P}$$



La costante μ si chiama coefficiente di attrito radente. È un numero puro che dipende dal materiale e dalle condizioni delle superfici.

fig.2

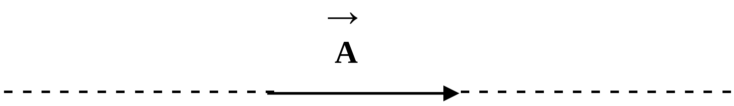
2.2 - I VETTORI

Per definire una forza occorre specificare, oltre alla sua *intensità*, anche la *direzione* e il *verso*. Si dice allora che la forza è una *grandezza vettoriale*.

Una **grandezza** fisica si dice **vettoriale** se è definita da:

- **INTENSITA'**
- **DIREZIONE**
- **VERSO**

Sono grandezze vettoriali: forza, spostamento, velocità, accelerazione, ecc.
Le grandezze vettoriali si rappresentano quindi con una freccia (**vettore**):

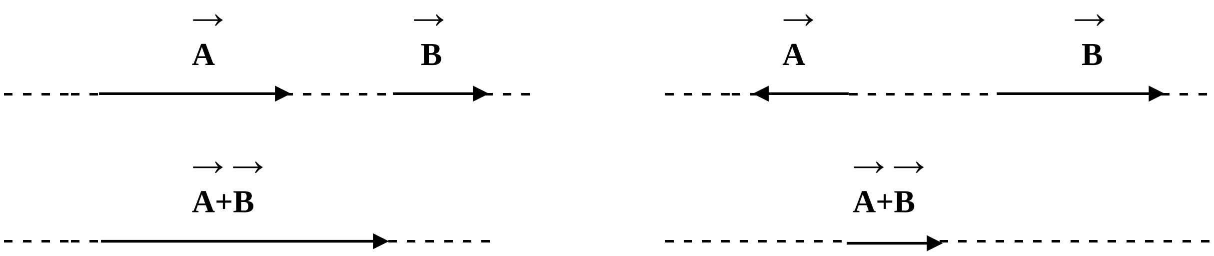


- l'**intensità** è la lunghezza della freccia;
- la **direzione** è la retta su cui si trova la freccia;
- il **verso** è la punta della freccia.

Una **grandezza** fisica si dice **scalare** quando per definirla è sufficiente un numero (**intensità**).
Sono grandezze scalari: tempo, massa, lunghezza, volume, densità, ecc.

SOMMA DI VETTORI

Le grandezze scalari si sommano algebricamente (come numeri). Le grandezze vettoriali, invece, possono essere sommate come numeri solo se hanno la stessa direzione (fig.3).

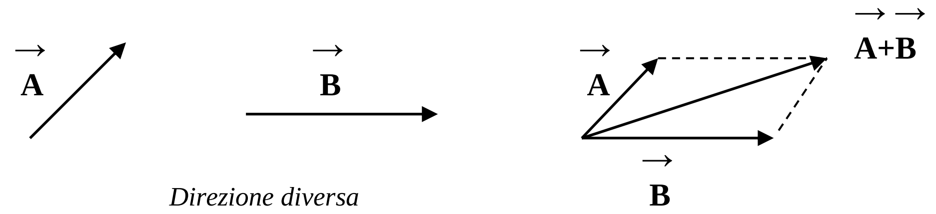


Stessa direzione e stesso verso | *Stessa direzione e verso opposto*

fig.3

Se non hanno la stessa direzione, per sommare due vettori occorre uno dei seguenti metodi grafici:

1. **Regola del parallelogramma** (fig.4)**:**
   - si riportano i vettori con l'origine in comune
   - si tracciano le parallele, in modo da formare un parallelogramma
   - si traccia la diagonale con la stessa origine, che è la somma cercata (vettore *risultante*).



Direzione diversa

fig.4

2. **Metodo punta-coda** (fig.5)**:**
   - si riportano i vettori uno di seguito all'altro (punta con coda);
   - si unisce la coda del primo con la punta del secondo, ottenendo il vettore *risultante.*

Direzione diversa

fig.5

Questo metodo è molto utile quando i vettori da sommare sono più di due (fig.6):

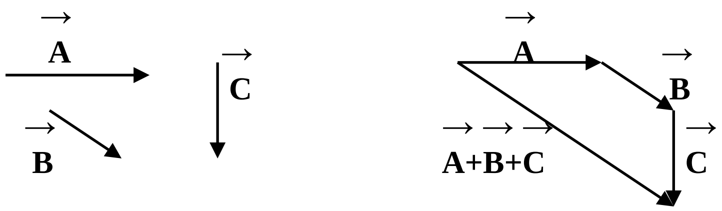
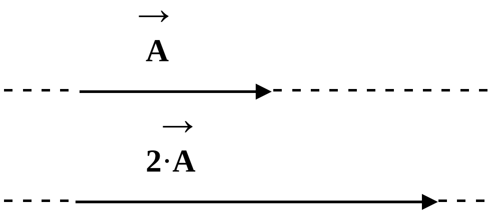


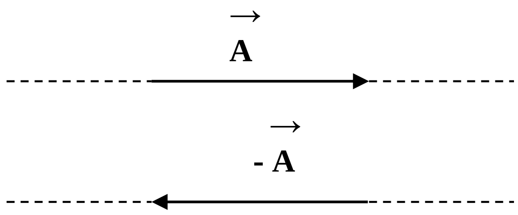
fig.6

ALTRE OPERAZIONI CON I VETTORI

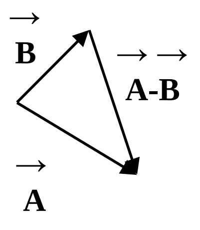
Prodotto per un numero:



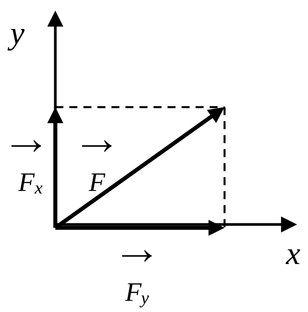
Vettore opposto:



Differenza di vettori:



Componenti di un vettore:



E' l'operazione inversa della somma: data la forza F, si trovano le sue componenti F_x e F_y secondo le direzioni assegnate x e y.

fig.7

2.3 - L’EQUILIBRIO DEI SOLIDI

IL PUNTO MATERIALE E IL CORPO RIGIDO

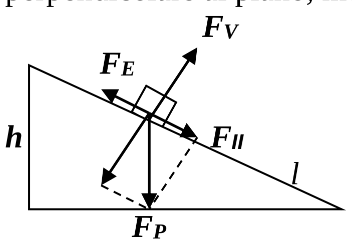
Il *punto materiale* e il *corpo rigido* sono *modelli*, cioè descrizioni semplificate di oggetti reali.
Il ***punto materiale*** è un corpo solido molto piccolo rispetto all’ambiente in cui si muove, che quindi può essere considerato come un punto, detto materiale perché ha una massa.
Il ***corpo rigido*** è un oggetto esteso che non si deforma, qualunque sia la forza applicata. Si tratta di un’approssimazione, perché nessun corpo è del tutto indeformabile.

EQUILIBRIO DEL PUNTO MATERIALE

Un punto materiale può solo *traslare.*

⟶ **Un punto materiale è in equilibrio se la risultante delle forze applicate è zero.**

Un punto materiale può essere *vincolato*. Un ***vincolo*** è un oggetto che impedisce un movimento, esercitando una forza, detta ***reazione vincolare***, proporzionata alla forza attiva che agisce su di esso. Nella risultante delle forze sono comprese anche le forze vincolari.
Per esempio, un corpo appoggiato su un piano inclinato può essere considerato come un punto materiale obbligato a muoversi sul piano inclinato, che è un vincolo (fig.1). Al corpo sono applicate tre forze: la forza peso F_P verso il basso, la forza vincolare F_V perpendicolare al piano, la forza equilibrante F_E parallela al piano. La forza vincolare equilibra esattamente la componente del peso perpendicolare al piano, mentre la forza equilibrante deve uguagliare la componente parallela.



F_E è data dalla formula:

$$F_E = F_P \cdot \frac{h}{l}$$

fig.8

EFFETTO DI ROTAZIONE DELLE FORZE: MOMENTO

Per descrivere l’effetto di rotazione delle forze occorre definire una nuova grandezza fisica: il ***momento.***
Il **momento di una forza** $\vec{F}$ è il prodotto della forza F per il braccio b:

$$M = F \cdot b$$

L’unità di misura è N·m.

Il momento si calcola rispetto a un punto. Il braccio è la distanza fra il punto e la retta di applicazione della forza (fig.2).

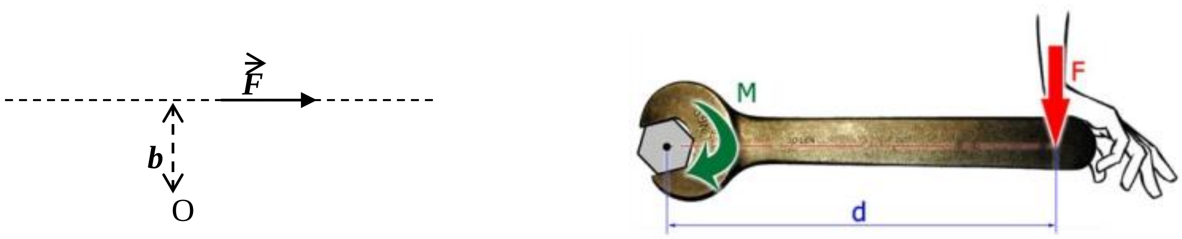
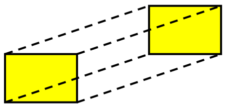


fig.9

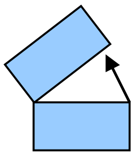
Il momento è direttamente proporzionale alla forza e al braccio, quindi per avere un buon effetto di rotazione occorre applicare una forza grande oppure utilizzare un lungo braccio.
Il momento della forza ha segno **positivo** quando il senso di rotazione è **antiorario**, **negativo** quando è **orario**.

EQUILIBRIO DEL CORPO RIGIDO

Un corpo rigido può *traslare* e *ruotare* (fig.3).



traslazione



rotazione

fig.10

→ **Un corpo rigido è in equilibrio se la risultante delle forze e la risultante dei momenti delle forze applicate è zero.**

Un esempio di applicazione della condizione di equilibrio è quello delle *leve*, che sono dispositivi per amplificare le forze (fig.4).
Una **leva** è un'asta rigida che può ruotare intorno a un punto fisso, detto *fulcro*.

$\boldsymbol{F}$ = forza motrice

$\boldsymbol{b_F}$ = braccio della forza motrice

$\boldsymbol{R}$ = forza resistente

$\boldsymbol{b_R}$ = braccio della forza resistente

Una leva è in equilibrio quando il momento di F è uguale al momento di R:

$$\boldsymbol{F \cdot b_F = R \cdot b_R}$$

Si può anche scrivere la proporzione:

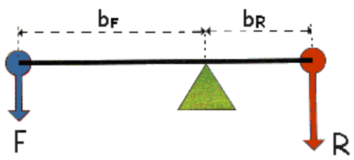
$$\boldsymbol{F : R = b_R : b_F}$$

Per vincere una resistenza maggiore della forza motrice occorre utilizzare un braccio più grande.

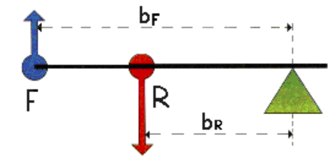
Una leva è *vantaggiosa* se $\boldsymbol{F < R}$**,** cioè se $\boldsymbol{b_F > b_R}$ (leva di 2° genere)

Una leva è *svantaggiosa* se $\boldsymbol{F > R}$**,** cioè se $\boldsymbol{b_F < b_R}$ (leva di 3° genere)

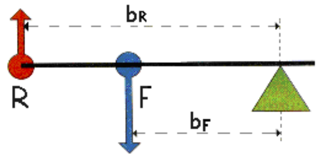
Le leve di 1° genere possono essere vantaggiose o svantaggiose.



Leva di 1° genere
(es. forbici, pinze, altalena)



Leva di 2° genere
(es. Schiaccianoci, carriola)



Leva di 3° genere
(es. Pinze da ghiaccio, braccio)

fig.11

Esercizi

MODULO 2

2.1 - LE FORZE

1 Appendo il sacchetto del pane al dinamometro, che segna 8,3 N. Quanti grammi di pane ho comprato?

2 Un astronauta sulla Terra ha una massa di 70 kg. Qual è il suo peso? Se si trova sulla Luna, dove la gravità è 1/6 di quella terrestre, quali sono la sua massa e il suo peso?

3 A una molla di costante elastica k = 1000 N/m è appeso un oggetto del peso di 3 N. Di quanto è allungata?

4 Applicando una massa di 4 g un dinamometro si allunga di 8 mm. Quanto vale la costante elastica in unità SI? Con quale forza si allungherebbe di 6 mm?

5 Una molla di costante elastica k_1 = 1000 N/m si allunga di 10 cm applicando una forza F. Di quanto si allungherebbe una seconda molla di costante elastica k_2 = 15 N/cm applicando la stessa forza?

6 Vuoi spostare una libreria di massa 90 kg. Il coefficiente di attrito radente fra libreria e pavimento è 0,3. Qual è la minima forza che devi applicare?

7 Per trascinare sul tavolo un libro di massa 1,5 kg devi esercitare una forza di 1,3 N. Qual è il coefficiente d'attrito?

2.2 - I VETTORI

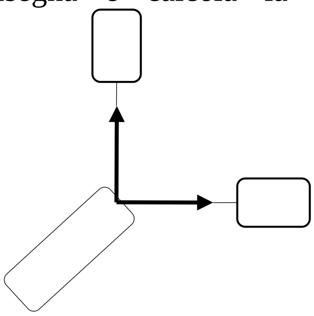
8 In una gara di tiro alla fune Paolo, Marco e Carlo esercitano le forze di 560 N, 480 N e 600 N verso sinistra, mentre Aldo, Franco e Matteo le forze di 550 N, 430 N e 580 N verso destra. Qual è la forza risultante? Qual è il suo verso?

9 Un aereo percorre 300 km verso Sud e 400 km verso Ovest. Disegna il vettore spostamento risultante e trova la sua lunghezza.

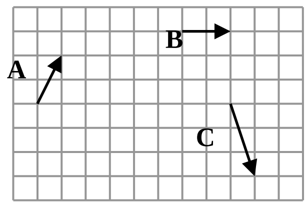
10 Su un foglio a quadretti disegna il vettore **v**, orizzontale, di lunghezza 4 quadretti. Trova i vettori 2 **v**, **v**/2, -3 **v**.

11 Su un foglio a quadretti disegna due vettori **A** e **B**, lunghi 6 e 8 quadretti e perpendicolari fra loro. Trova il vettore differenza **C** = **A** – **B**.

12 In figura sono schematizzati due rimorchiatori che trascinano una nave. Ciascuno esercita una forza di $1{,}7 \cdot 10^5$ N. Disegna e calcola la forza risultante.



13 Dati i vettori in figura, trovane la risultante con il metodo punta-coda:

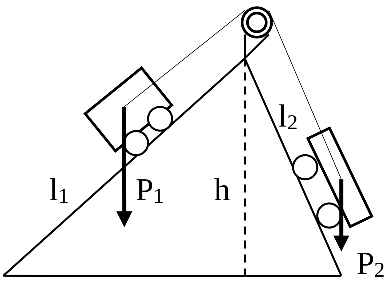


2.3 - L'EQUILIBRIO DEI SOLIDI

14 Un corpo del peso di 300 N si trova su un piano inclinato lungo 6 m. Per mantenerlo in equilibrio occorre una forza parallela al piano di 50 N. Qual è l'altezza del piano inclinato?

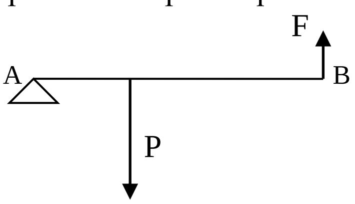
15 Un uomo deve caricare una botte di 200 kg su un autocarro il cui piano è a 80 cm dal livello stradale. Dato che è in grado di esercitare una forza massima di 800 N, qual è la lunghezza minima necessaria del piano inclinato?

16 I due carrelli in figura si trovano in equilibrio. Sapendo che l_1 = 70 cm, l_2 = 40 cm, h = 30 cm e P_1 = 140 N, quanto pesa il secondo carrello?

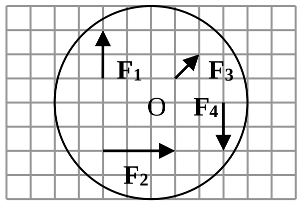


[80 N]

17 Un'asta rigida AB lunga 1 m può ruotare intorno al suo estremo A. a 30 cm da A è sospeso un peso di 40 kg. Quale forza si deve applicare in B per l'equilibrio?



18 Calcola il momento risultante rispetto al centro del disco O, sapendo che un quadretto corrisponde a 10 cm.



F_1 = 10 N
F_2 = 15 N
F_3 = 7 N
F_4 = 10 N

In che senso ruota il disco?

[200 N·m]

19 Un tappo a corona esercita sull'apribottiglie una forza resistente di 120 N. Il fulcro si trova a 12 mm dall'orlo del tappo e l'apribottiglie è lungo 84 mm. Quale forza motrice occorre per equilibrare la forza resistente?

[20 N]

20 Per svitare un bullone da una ruota di un'auto occorre un momento di 150 N·m. Se abbiamo una forza di 300 N, quanto deve essere lunga la chiave inglese?

21 In una leva di terzo genere i due bracci misurano 80 mm e 55 mm. Se la forza resistente è 5,7 N, qual è l'intensità della forza motrice?

MODULO 3

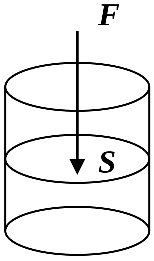
La pressione
e l'equilibrio dei fluidi

– L'equilibrio dei fluidi

3.1 - L'EQUILIBRIO DEI FLUIDI

LA PRESSIONE

Le forze di cui abbiamo parlato finora erano applicate a corpi *solidi*, che hanno forma e volume propri. Invece i *liquidi* e i *gas*, che nell'insieme si chiamano ***fluidi***, prendono la forma del recipiente che li contiene. Quindi per i fluidi non ha significato parlare di forze applicate in un punto, ma occorre mettere il fluido in un contenitore e applicare la forza per esempio su un pistone, esercitando così una ***pressione***, cioè una forza per unità di superficie (fig.1).



Definiamo quindi **pressione** il rapporto fra la forza e la **superficie** su cui si esercita:

$$p = \frac{F}{S}$$

e nel SI si misura in Pascal: **1 Pa = 1 N/m^2**.

Un multiplo molto usato del Pascal è il bar: **1 bar = 10^5 Pa**.

Di seguito parliamo di alcune proprietà della pressione nei fluidi.

IL PRINCIPIO DI PASCAL

La pressione esercitata su una superficie di un fluido si trasmette con la stessa intensità a tutti i punti del fluido (fig.2).

Un'applicazione importante è il *torchio idraulico*, con cui si ottengono grandi forze di compressione (fig.3). Poiché la pressione sul pistone 1 all'equilibrio deve essere uguale a quella sul pistone 2, con una piccola forza sulla superficie minore si ottiene una grande forza sulla superficie maggiore. Sullo stesso principio si basano anche i sollevatori idraulici e i freni a disco.

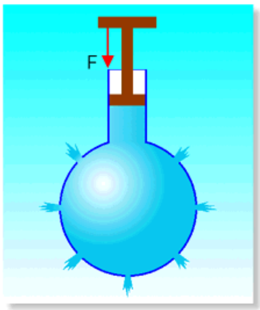


fig.2

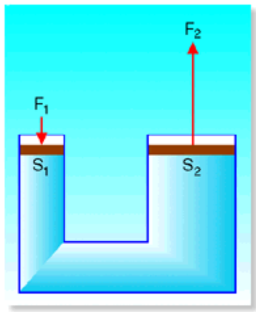


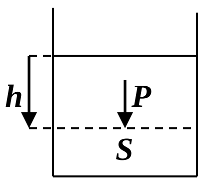
fig.3

LA LEGGE DI STEVIN

Anche se non applichiamo forze dall'esterno, a una certa profondità in un fluido c'è sempre una pressione dovuta al peso del fluido stesso (fig.4). Si chiama ***pressione idrostatica*** ed è data dalla legge di Stevin:
La pressione idrostatica è direttamente proporzionale alla profondità e alla densità del fluido.

$$p = d \cdot g \cdot h$$

dove ***d*** = densità
g = accelerazione di gravità
h = profondità



P = forza peso del liquido
S = superficie

fig.4

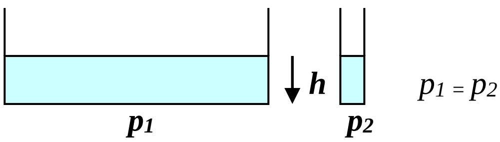


fig.5

Da notare che la pressione idrostatica non dipende dalla quantità di fluido: per esempio sul fondo di una vasca o di una bottiglia c'è la stessa pressione se l'altezza dell'acqua è la stessa (fig.5).

La pressione idrostatica è responsabile delle difficoltà che incontrano i subacquei nell'andare in profondità. Si può calcolare che per ogni 10 m di discesa la pressione aumenta di circa 1 bar.

Una conseguenza della legge di Stevin è il *principio dei vasi comunicanti*, che ci assicura che in recipienti comunicanti fra loro, anche di forma diversa, il liquido raggiunge sempre lo stesso livello (fig.6).

fig.6

IL PRINCIPIO DI ARCHIMEDE

Un corpo immerso in un fluido riceve una spinta verso l'alto uguale al peso del liquido spostato.

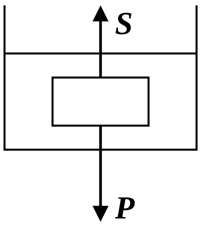
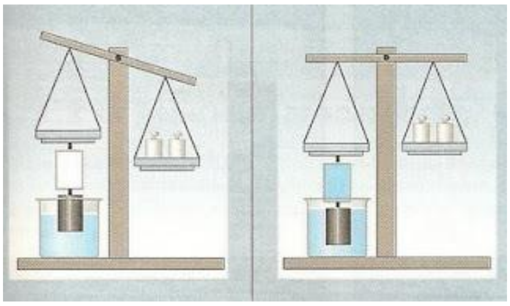


fig.7

Quando un corpo è immerso in un fluido ha un peso apparente *P'* minore del peso reale *P* (fig. 7):

$$P' = P - S$$



Nell'esperimento in figura, se riempiamo d'acqua il cilindro vuoto, che ha lo stesso volume del cilindro pieno, si ristabilisce l'equilibrio, quindi la spinta è proprio uguale al peso di un volume d'acqua uguale a quello del corpo (fig.8).

fig.8

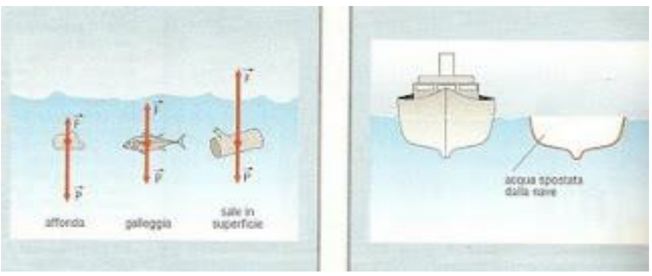
Conseguenza del principio di Archimede sono le *condizioni di galleggiamento*:
Detti P = peso del corpo e S = spinta = peso del liquido spostato

Se $P>S$ il corpo affonda
Se $P<S$ il corpo galleggia

Poiché il peso del corpo e il peso del liquido spostato hanno lo stesso volume, possiamo confrontare i pesi specifici o le densità. Infatti

$$P = p_{s\,corpo} \cdot V = d_{corpo} \cdot g \cdot V$$
$$S = p_{s\,liquido} \cdot V = d_{liquido} \cdot g \cdot V$$

→ *Un corpo galleggia se ha una densità minore del fluido, affonda se ha una densità maggiore*.



Se però il corpo ha una forma cava, come una nave, riesce a spostare una grande quantità di fluido e quindi galleggia anche se ha un peso specifico elevato (fig.9).

fig.9

LA PRESSIONE ATMOSFERICA

La Terra è circondata da una miscela di aeriformi, detta *"atmosfera"*, che si estende fino a un'altezza di un centinaio di chilometri, diventando meno densa con l'altitudine. Il peso di questo strato d'aria esercita una pressione su tutti i corpi in tutte le direzioni, la *"pressione atmosferica"*.
Il primo che misurò il valore della pressione atmosferica fu Evangelista Torricelli, nel 1644, con un famoso esperimento (fig.10). Un tubo di vetro di circa un metro, chiuso da un lato e pieno di mercurio, viene capovolto in una vaschetta contenente mercurio, senza far entrare aria. Il mercurio scende e si stabilizza a un'altezza di 76 cm (al livello del mare). È la pressione atmosferica che alla base della colonnina fa equilibrio alla pressione idrostatica del mercurio del tubo. Si può quindi calcolare la pressione atmosferica attraverso la legge di Stevin:

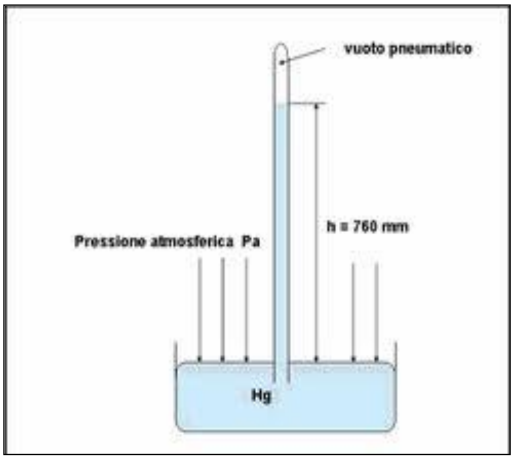


fig.10

$$\mathbf{p = d \cdot g \cdot h}$$

Sapendo che la densità del mercurio (Hg) è 13600 kg/m^3, si trova:

$$\mathbf{p_a = 13600 \cdot 9{,}8 \cdot 0{,}76 = 101300\ Pa}$$

Questo valore viene chiamato "atmosfera" (**atm**).
Si ha quindi:

1 atm = 101300 Pa = 1,013 bar = 1013 mbar = 1013 hPa

Un'altra unità di misura della pressione è il **mm$_{Hg}$** (millimetro di mercurio), detto anche **torr**, in onore di Torricelli:

1 atm = 760 torr

Con l'aumentare della quota la pressione atmosferica diminuisce, perché cambia la composizione e la densità dell'aria.

LA MISURA DELLA PRESSIONE

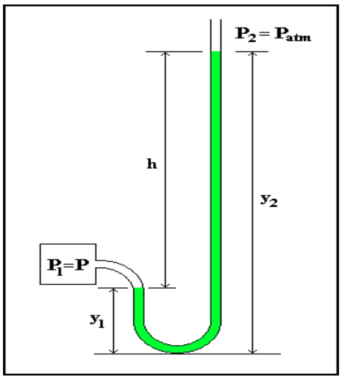
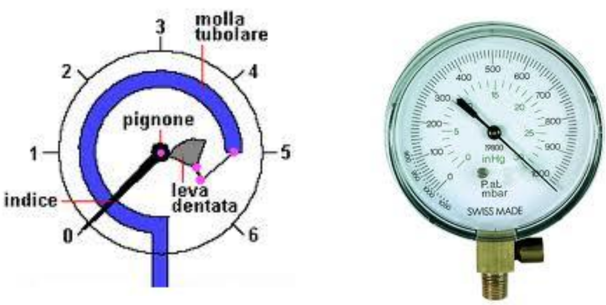


fig.11

La pressione dei fluidi si misura con il **manometro**, che è uno strumento *differenziale*, perché misura la differenza di pressione fra due ambienti. In fig.11 è schematizzato un **manometro a liquido a tubo aperto.** Nel tubo a U si trova il mercurio. Un ramo del tubo è sottoposto alla pressione atmosferica (p_{atm}), mentre l'altro è collegato al fluido di cui vogliamo misurare la pressione (p). Per la legge di Stevin la differenza di pressione fra i due rami è data da:

$$p_{atm} - p = d \,.\, g \,.\, h$$

dove $h = y_2 - y_1$



Ci sono poi i **manometri metallici**, come il manometro Bourdon (fig.12), che sfrutta la deformazione causata da una differenza di pressione su un tubo cavo a forma di anello. Una delle estremità del tubo è chiusa e collegata a un indice, l'altra è in comunicazione con il fluido. La differenza di pressione fra interno ed esterno del tubo fa spostare l'indice su una scala.
fig.12

Esercizi

MODULO 3

3.1 - L'EQUILIBRIO DEI FLUIDI

1 Un uomo del peso di 85 kg quando è sugli sci ha un'area di appoggio di 30 dm^2, mentre quando ha solo gli scarponi copre 2 dm^2 di superficie. Calcola la pressione in Pascal che l'uomo esercita sulla neve nei due casi.

2 Calcola la pressione che esercita sul pavimento un tavolo con piano di marmo di 130 kg sapendo che le quattro gambe hanno sezione quadrata di lato 3 cm.
[3,5 · 10^5 Pa]

3 Un corpo di massa 72 kg esercita sul suolo una pressione di 12 · 10^3 Pa. Qual è l'area della base d'appoggio?

4 In un torchio idraulico i due pistoni hanno superfici di 12 cm^2 e 70 cm^2. Se viene applicata una forza di 130 N al pistone piccolo, quale forza verso l'alto si produce sul pistone grande?

5 Un'auto del peso di 980 kg poggia su una superficie di 80 cm^2 e viene sollevata con una forza di 1 kg. Qual è l'area della sezione minore del ponte elevatore?

6 Il manometro di un sub in immersione misura una differenza di pressione rispetto all'esterno di 2,5 · 10^4 Pa. A che profondità si trova? (d = 1028 kg/m^3)

7 Un sommergibile è in immersione con la torretta alla profondità di 20 m. Sapendo che l'acqua del mare ha una densità di 1028 kg/m^3, calcola la pressione a cui è sottoposto e la forza che agisce sul portellone della torretta, di area 0,5 m^2.

8 Una sferetta di ferro (d = 7880 kg/m^3) di massa 30 g è immersa in acqua. Calcola la spinta di Archimede.
[3,8 g]

9 Un blocchetto di piombo di 270 g (d = 11300 kg/m^3), appeso a un dinamometro, viene immerso completamente in acqua. Quale forza si legge sul dinamometro?
[246 g]

10 Un oggetto di metallo di 250 g, ha un peso apparente di 218,2 g quando è immerso in acqua. Qual è la densità del metallo?
[7860 kg/m^3)

11 Per misurare la densità di un certo liquido uno studente appende a un dinamometro un cilindretto di acciaio (d = 7800 kg/m^3) di 500 g e lo immerge nel liquido. Lo strumento indica 3,9 N. Qual è la densità del liquido?
[1590 kg/m^3]

12 Una nave carica ha una massa di 10^7 kg. Qual è il volume della parte immersa nel mare (d = 1028 kg/m^3)?

13 Volendo utilizzare l'acqua al posto del mercurio nel barometro di Torricelli, quale sarebbe l'altezza raggiunta misurando la pressione atmosferica normale?

14 Un barometro di Torricelli indica una pressione di 350 mm_{Hg}. Esprimi la pressione in Pascal e in atmosfere.

15 Qual è il peso della colonna d'aria sulla copertina di un libro di superficie 500 cm^2?

16 Nel controllare la pressione delle gomme del motorino col manometro a colonna di un distributore, vedi salire il mercurio a 114 cm di altezza. Che pressione indica lo strumento, in atmosfere e in bar?

17 Il dislivello tra i due rami di un manometro a tubo aperto è di 5 cm. Qual è la differenza di pressione misurata dal manometro?

MODULO 4

Le forze e il movimento

- I moti rettilinei
- Le forze e il movimento

4.1 – I MOTI RETTILINEI

IL MOVIMENTO

Finora ci siamo occupati degli effetti statici delle forze, cioè dell'equilibrio dei corpi (*Statica*). Vediamo ora quali sono gli effetti dinamici, studiando le forze che sono la causa di un certo movimento (*Dinamica*). Iniziamo con la descrizione di alcuni semplici moti (*Cinematica*).
In generale diciamo che *un corpo è in movimento quando la sua posizione rispetto a un altro, preso come riferimento, varia nel tempo*.
Esempio: In stazione con un treno in partenza. Se siamo a terra vediamo la stazione "ferma" e il treno partire. Se invece siamo sul treno abbiamo la sensazione che il treno sia fermo e che la stazione sia in movimento.
Quindi per dire che un corpo è in movimento, prima di tutto bisogna stabilire rispetto a cosa è in movimento. Possiamo affermare che il concetto di moto di un corpo non è assoluto ma *relativo a un dato sistema di riferimento*.
Come nella statica, anche per il movimento un oggetto può essere studiato con il modello del **punto materiale** se è molto piccolo rispetto allo spazio in cui si muove.
Si chiama **traiettoria** la linea formata dalle posizioni occupate da un punto materiale in movimento.
Nel seguito ci occupiamo di **moti rettilinei**, cioè di quelli che hanno come traiettoria un segmento di retta.

LA VELOCITA'

La prima grandezza che incontriamo nello studio del moto di un corpo è la *velocità*.
Consideriamo un corpo che percorre uno spazio Δs in un intervallo di tempo Δt; diremo che il corpo si è mosso con una *velocità media* v_m

$$v_m = \Delta s / \Delta t$$

Quindi si definisce **velocità media:**

il rapporto tra lo spazio percorso dal corpo e il tempo impiegato a percorrerlo

Dalla definizione si deduce che nel Sistema Internazionale l'unità di misura della velocità è il **metro al secondo** [*m/s*]. Tuttavia è molto utilizzato anche il chilometro all'ora [k*m/h*]. Per passare da un'unità all'altra osserviamo che

$$1\ m/s = 3600\ m/h = 3,6\ km/h$$

Quindi:
- per passare da *m/s* a *km/h* si moltiplica per *3,6*
- per passare da *km/h* a *m/s* si divide per *3,6*

Osserviamo che la velocità media sopra definita non dà informazioni su come si muove il corpo in ogni istante, ma solo un'indicazione media, come se il corpo fosse sempre andato a quella velocità.
La velocità del corpo in un certo istante si chiama **velocità istantanea** e la possiamo immaginare come una velocità media in un intervallo di tempo molto piccolo.

MOTO RETTILINEO UNIFORME

Un corpo si muove di ***moto rettilineo uniforme*** quando:

- La traiettoria è su una retta (*rettilineo*)
- La velocità è costante (*uniforme*)

In questo caso la velocità media è la stessa in ogni intervallo di tempo e corrisponde quindi alla velocità che ha il corpo in ogni istante:

$$v = s / t = costante$$

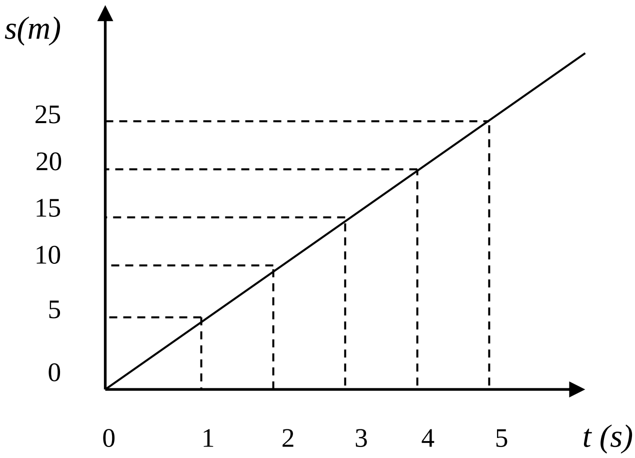
Se il rapporto tra gli spazi percorsi e i corrispondenti intervalli di tempo è costante si può anche dire che *il corpo percorre spazi uguali in tempi uguali*. Osserviamo quindi che

☞ *se la velocità è costante, lo spazio e il tempo sono direttamente proporzionali.*

OSSERVAZIONE: Due grandezze si dicono ***direttamente proporzionali*** quando all'aumentare dell'una, aumenta anche l'altra, mantenendo il rapporto costante. Il grafico che le rappresenta è una retta passante per l'origine degli assi.
Per esempio, la tabella e il grafico seguenti (fig.1) rappresentano il moto uniforme di un corpo. Come si vede, si misura lo spazio percorso a partire dalla posizione occupata nell'istante iniziale, cioè quando si aziona il cronometro (s = 0 quando t = 0).

t(s)	*s(m)*
0	0
1	5
2	10
3	15
4	20
5	25

fig.1



Calcoliamo la velocità:

$v = s / t = 5 / 1 = 10 / 2 = 15 / 3 = 5\ m/s$

Come si vede il rapporto fra spazio e tempo è costante e rappresenta la velocità.
La legge che rappresenta la posizione di un corpo al variare del tempo si chiama **legge oraria.**

☞ **Per il moto rettilineo uniforme, se lo spazio percorso è 0 al tempo 0, la legge oraria è:**

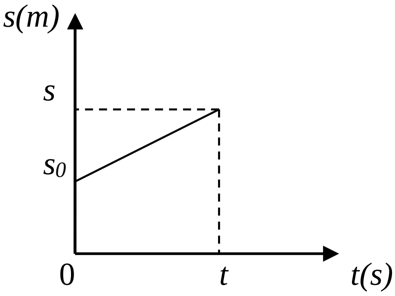
$$s = v \cdot t$$

Il diagramma orario (s-t) del moto rettilineo uniforme è una retta che passa per l'origine degli assi e la *pendenza* della retta rappresenta la velocità con cui il corpo si muove.

Se il corpo che stiamo studiando al momento di far partire il cronometro ha già percorso uno spazio s_0, allora la legge oraria è:

$$s = v \cdot t + s_0$$

Il diagramma orario in questo caso è una retta che non passa per l'origine, ma per il punto s_0 (fig.2).



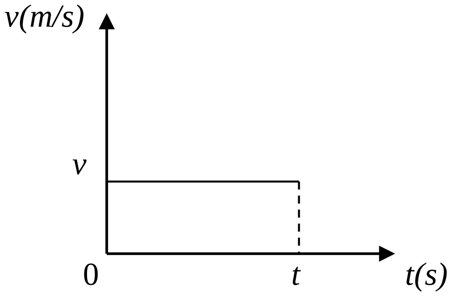


fig.2 **fig.3**

In un moto uniforme il diagramma della velocità, che rimane sempre costante, è una retta parallela all'asse dei tempi (fig.3). L'area del rettangolo che così si forma rappresenta lo spazio totale percorso (base x altezza = $v \cdot t = s$).

L'ACCELERAZIONE

In generale un corpo in movimento cambia la sua velocità, perché parte, si ferma, frena o accelera. In questo caso il moto non è uniforme, ma si parla di **moto vario**. La velocità varia nel tempo e si dice allora che il corpo accelera o decelera se la velocità aumenta o diminuisce.
L'**accelerazione media** è

il rapporto tra la variazione di velocità e l'intervallo di tempo

$$a_m = \Delta v / \Delta t$$

Si può anche scrivere:

$$a_m = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

L'accelerazione misura quindi la rapidità con cui varia la velocità.
Ricaviamo dalla definizione l'unità di misura dell'accelerazione nel Sistema Internazionale:

$$\frac{m/s}{s} = \frac{m}{s \cdot s} = \frac{m}{s^2}$$

L'unità di misura è quindi il **metro al secondo quadrato** [m/s^2]. Dire che un oggetto ha un'accelerazione di 1 m/s^2 significa che la sua velocità aumenta al ritmo di 1 m/s ogni secondo.
Se la velocità diminuisce ($v_2 < v_1$), l'accelerazione è *negativa*, cioè il corpo *decelera* (frena).

MOTO RETTILINEO UNIFORMEMENTE ACCELERATO

Il più semplice moto rettilineo accelerato è il ***moto uniformemente accelerato***, in cui

- L'accelerazione è costante

$$a_m = \Delta v / \Delta t = costante$$

Si tratta di un moto in cui la velocità cresce in modo uniforme, variando della stessa quantità in intervalli di tempo uguali. Si può quindi dire che

☞ *In un moto uniformemente accelerato, la variazione di velocità è direttamente proporzionale all'intervallo di tempo.*

1° caso: **PARTENZA DA FERMO**

Se all'istante iniziale il corpo è fermo (cioè se la velocità è 0 al tempo 0), si può dire che la velocità è direttamente proporzionale al tempo e si scrive:

$$a = v / t = costante$$

da cui la legge della velocità:

$$v = a \cdot t$$

Se la rappresentiamo in un diagramma *v – t* otteniamo una retta passante per l'origine (fig.4).
La pendenza della retta rappresenta l'accelerazione.

t(s)	*v(m/s)*
0	0
1	4
2	8
3	12
4	16
5	20

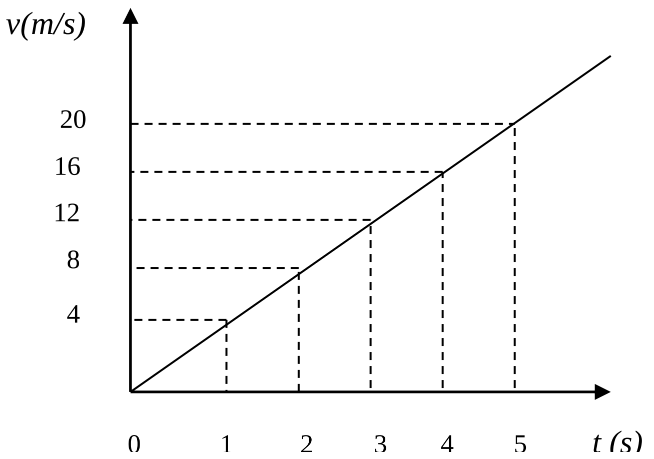


fig.4

Calcoliamo l'accelerazione e verifichiamo che è costante: $a = v / t = 4 / 1 = 8 / 2 = 12 / 3 = 4\ m/s^2$.

Resta da ricavare la legge oraria del moto uniformemente accelerato, cioè la relazione fra spazio e tempo. Osservando la figura, vediamo che il grafico della velocità forma con l'asse dei tempi un triangolo. Possiamo trovare lo spazio percorso calcolandone l'area.

$$s = \text{area} = \frac{\text{base x altezza}}{2} = \frac{v \cdot t}{2}$$

Ricordando che $\boldsymbol{v = a \cdot t}$ otteniamo:

$$s = \frac{a \cdot t \cdot t}{2} = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

☞ **Per il moto uniformemente accelerato, se la velocità iniziale è 0 la legge oraria è:**

$$\boldsymbol{s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2}$$

Alla stessa legge si arriva anche attraverso una semplice considerazione. Nel tempo t la velocità cresce da 0 a v, con un valore medio pari a $v_m = (0 + v) / 2 = v / 2$. Lo spazio percorso si può quindi calcolare:

$$\boldsymbol{s = v_m \cdot t = \frac{v}{2} \cdot t}$$

che è la stessa formula usata per l'area del triangolo.

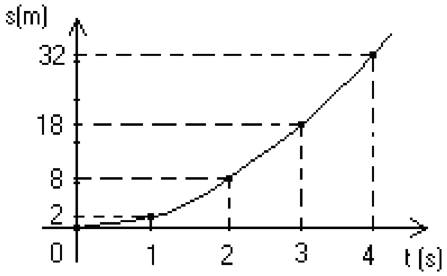
Riassumendo, lo spazio percorso si può ricavare in 3 modi equivalenti (con riferimento alla fig.4):

1) con l'area del triangolo: $s = \frac{20 \cdot 5}{2} = 50$ m
2) con la velocità media: $v_m = \frac{20}{2} = 10$ m/s $s = 10 \cdot 5 = 50$ m
3) con l'accelerazione (legge oraria): $a = \frac{20}{5} = 4\ m/s^2$ $s = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot 5^2 = 50$ m

Vediamo ora quale sarà il diagramma orario (s_t) del moto uniformemente accelerato.

Applichiamo la legge oraria $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$ per i valori di t in tabella, ricordando che $a = 4\ m/s^2$.

t(s)	*s(m)*
0	0
1	2
2	8
3	18
4	32



Come si vede il grafico è una **parabola**, perché

☞ *lo spazio percorso è direttamente proporzionale al* **quadrato** *del tempo.*

2° caso: **CON VELOCITA' INIZIALE**

Se al momento di far partire il cronometro il corpo si muove già a una velocità v_0, l'accelerazione si calcola:

$$\boldsymbol{a = \frac{v - v_0}{t}}$$

e la legge della velocità diventa:

$$\boldsymbol{v = a \cdot t + v_0}$$

Il diagramma orario in questo caso è una retta che non passa per l'origine, ma per il punto v_0 (fig.5).

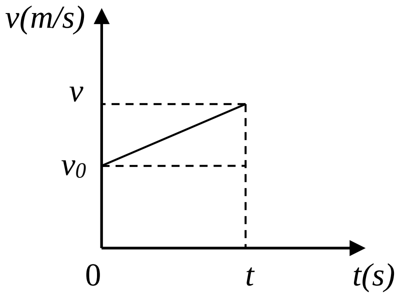


fig.5

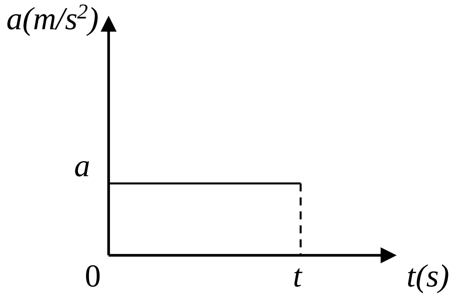


fig.6

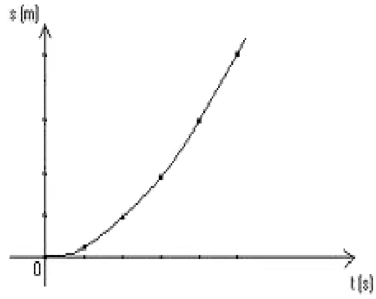


fig.7

In un moto uniformemente accelerato il diagramma dell'accelerazione, che rimane sempre costante, è una retta parallela all'asse dei tempi (fig.6).

Per ricavare la legge oraria osserviamo la figura 5. Questa volta nel grafico si forma un trapezio rettangolo con base minore v_0, base maggiore v e altezza t. L'area si calcola allora:

$$s = \text{area} = \frac{(B + b) \times h}{2} = \frac{(v + v_0) \cdot t}{2}$$

Sostituendo $\boldsymbol{v = a \cdot t + v_0}$, dopo alcuni passaggi si trova che:

☞ **Per il moto uniformemente accelerato con velocità iniziale v_0 la legge oraria è:**

$$\boldsymbol{s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2}$$

Per capire la formula, osserviamo che il trapezio è formato da un rettangolo e da un triangolo. L'area del rettangolo è $\boldsymbol{v_0 \cdot t}$, mentre l'area del triangolo è $\boldsymbol{\frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2}$.

Come nel caso di partenza da fermo, anche per la legge completa il diagramma (s-t) è una parabola (fig.7).

Ricapitolando, le leggi del moto uniformemente accelerato sono le seguenti:

con partenza da fermo	*con velocità iniziale* $\boldsymbol{v_0}$
$\boldsymbol{v = a \cdot t}$	$\boldsymbol{v = a \cdot t + v_0}$
$\boldsymbol{s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2}$	$\boldsymbol{s = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2}$

UN PARTICOLARE MOTO UNIFORMEMENTE ACCELERATO: LA CADUTA LIBERA

Un esempio di moto uniformemente accelerato è continuamente sotto i nostri occhi: è il moto di caduta di tutti gli oggetti a causa della forza di gravità, le cui leggi sono state studiate per la prima volta da Galileo. Il moto è ostacolato dalla resistenza dell'aria, per cui è diverso per oggetti che non hanno la stessa forma e lo stesso peso. Se potessimo sperimentare nel vuoto (*caduta libera*) vedremmo una piuma e una pallina raggiungere il suolo insieme. Se l'attrito dell'aria è trascurabile, sulla Terra

☞ **tutti i corpi cadono con la stessa accelerazione costante, detta <u>accelerazione di gravità</u>**

$$\boldsymbol{g = 9{,}81\ m/s^2}$$

Questo è un valore medio (a livello del mare e 45° di latitudine). In realtà $\boldsymbol{g}$ diminuisce lentamente con la quota e aumenta dall'equatore ai poli, ma solo dello 0,5% circa.

La velocità di un corpo in caduta libera aumenta quindi di 9,81 m/s ogni secondo, mentre in presenza di resistenza dell'aria il moto è accelerato solo inizialmente, finché l'attrito aumenta tanto da equilibrare il peso del corpo, che continua così a cadere a velocità costante (*velocità limite*).

Per la caduta libera, partendo da fermi, le leggi del moto possono essere scritte:

Caduta libera
$\boldsymbol{v = g \cdot t}$
$\boldsymbol{h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2}$

con ***h*** = altezza di caduta.

Infine, se lanciamo un oggetto verso l'alto il moto sarà uniformemente decelerato con accelerazione ***– 9,81 m/s²***.

4.2 – LE FORZE E IL MOVIMENTO

La **dinamica** è la parte della Fisica che studia il moto dei corpi, per effetto delle forze applicate.
Essa si fonda su tre principi, formulati nel '600 dal fisico inglese Isaac Newton:

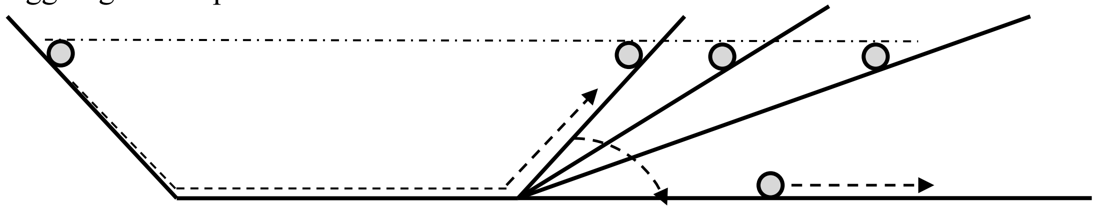
- Il primo principio, o *principio d'inerzia*
- Il secondo principio, o *legge fondamentale della dinamica*
- Il terzo principio, o *principio di azione e reazione*

La dinamica di Newton descrive efficacemente sia i movimenti dei pianeti che quelli dei corpi sulla Terra, mentre non è applicabile alla fisica atomica e delle particelle elementari.

IL 1° PRINCIPIO DELLA DINAMICA

È stato enunciato per la prima volta nel 1638 da Galileo Galilei, che attraverso il suo metodo scientifico è riuscito a dedurre questa legge dall'esperienza, nonostante gli scarsi mezzi sperimentali a sua disposizione. Ha infatti potuto solo immaginare cosa succederebbe a un corpo in movimento in assenza totale di attriti, attraverso il seguente esperimento ideale:

> Una pallina viene lasciata scendere lungo un piano inclinato senza attrito e poi fatto risalire su un secondo piano inclinato. Si osserva che la pallina raggiunge l'altezza iniziale. Se diminuiamo progressivamente l'inclinazione del secondo piano la pallina percorrerà ogni volta più spazio ma raggiungerà sempre l'altezza iniziale.



> Al limite, quando il secondo piano diventa orizzontale, la pallina continuerà a muoversi all'infinito.

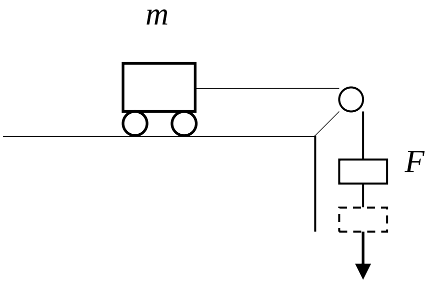
La formulazione definitiva del **1° principio**, detto anche *principio d'inerzia*, è dovuta a Isaac Newton, ed è la seguente:

→ ***Se la risultante delle forze applicate è nulla, il corpo mantiene il suo stato di quiete o di moto rettilineo uniforme.***

<u>Osservazione</u>: Il moto rettilineo uniforme è il moto naturale di un corpo su cui non agiscono forze.

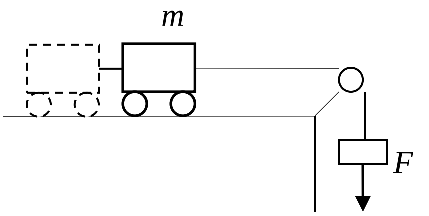
IL 2° PRINCIPIO DELLA DINAMICA

Possiamo verificare che un corpo a cui è applicata una forza cambia la sua velocità. L'effetto della forza è quindi un'accelerazione. Il 2° principio indica qual è la relazione fra forza applicata e accelerazione. Possiamo ricavarla sperimentalmente:



1) Misuriamo l'accelerazione di un corpo sottoposto a una forza e ripetiamo la misura aumentando ogni volta l'intensità della forza *F*. Con un peso doppio (*2F*), raddoppia anche l'accelerazione (*2a*). Quindi:

→ *l'accelerazione è direttamente proporzionale alla forza*



2) Ripetiamo ora l'esperimento applicando la stessa forza *F* a corpi di massa sempre più grande. Se per esempio raddoppiamo la massa *m* del carrello in figura l'accelerazione diventa la metà. Quindi:

→ *l'accelerazione è inversamente proporzionale alla massa*

In conclusione possiamo enunciare così il **2° principio:**

→ ***Se la risultante delle forze applicate non è zero, il corpo acquista un'accelerazione direttamente proporzionale alla forza e inversamente proporzionale alla massa, nella direzione e nel verso della forza.***

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \qquad \textit{oppure} \qquad \vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

L'ultima frase ci ricorda che accelerazione e forza sono vettori, per cui si tratta di una relazione vettoriale.
Da questa legge si definisce l'unità di misura della forza nel S.I., il **Newton (N)**:

1 N è la forza che applicata alla massa di 1 kg le imprime l'accelerazione di 1 m/s².

<u>Osservazione</u>: Il 1° principio è contenuto nel 2° come caso particolare: se $F = 0$ anche $a = 0$.

Proviamo ora ad applicare la legge al caso della forza peso. Ricaviamo la relazione fra massa e peso di un corpo:

$$\vec{P} = m \cdot \vec{g}$$

Infatti la forza agente su un corpo in caduta libera è la sua forza peso *P*, mentre l'accelerazione è quella di gravità $g = 9{,}8\ m/s^2$. Dato che g è la stessa per tutti i corpi che cadono nel vuoto, il peso e la massa sono direttamente proporzionali. Per questo motivo spesso li confondiamo, dimenticando che si tratta di due proprietà diverse: la massa è una proprietà *intrinseca* dei corpi, mentre il peso è la forza di gravità, che come si sa varia con il luogo. La massa si misura in *kg*, mentre il peso, che è una forza, deve essere misurato in *N*. La massa di *1 kg* pesa *9,8 N*.

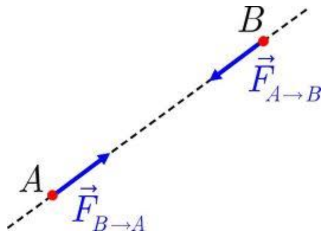
IL 3° PRINCIPIO DELLA DINAMICA

Una forza è sempre conseguenza di un'***interazione***, cioè di un'azione reciproca fra due corpi. Ogni volta che un corpo A esercita una forza su un corpo B, anche B esercita una forza su A. Alcuni esempi:

- Per fare un salto esercitiamo una forza sul pavimento, che ci restituisce la spinta verso l'alto.
- Quando un fucile spara, all'azione sul proiettile corrisponde una reazione sulla spalla del tiratore, chiamata rinculo.
- Su questo principio si basa il funzionamento dei motori a reazione: alla forza esercitata sui gas espulsi all'indietro corrisponde la spinta in avanti.

Possiamo allora dire che una forza non esiste mai da sola. La relazione fra le due forze è data dal **3° principio** della dinamica, detto anche ***principio di azione e reazione***:

→ ***Se un corpo A esercita una forza su un corpo B, anche B esercita su A la stessa forza in verso opposto***



$$\vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

Esercizi

MODULO 4

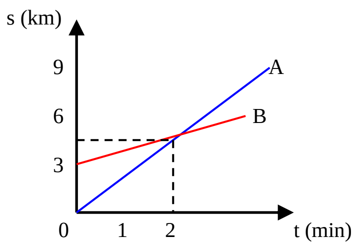
4.1 – I MOTI RETTILINEI

1 Nel 2009 Usain Bolt ha corso i 100 m piani in 9,58 s. Quale è stata la sua velocità media in m/s? E in km/h?

2 Quanta strada ha percorso in un'ora e mezza un ciclista che ha tenuto una velocità media di 28 km/h?

3 Durante una gara di Formula 1 un'auto percorre il circuito di Monza (5793 m) a una velocità media di 234 km/h. In quanto tempo conclude i 53 giri della gara?
[1 h 18 min 43,5 s]

4 Il grafico rappresenta il moto di due automobili. Calcola le due velocità. Che cosa succede nel punto d'intersezione?



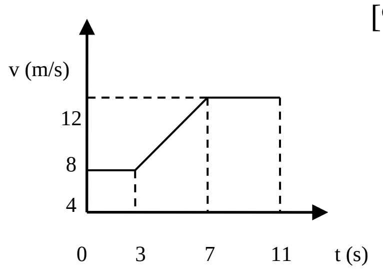
5 Un atleta sta correndo alla velocità costante di 18 km/h e fa partire il cronometro del suo orologio dopo 200 m. Qual è la sua posizione dopo 1 minuto? Disegna il diagramma spazio-tempo.
[500 m]

6 Un aereo di linea raggiunge la velocità di decollo di 60 m/s in 30 s. Qual è la sua accelerazione media?

7 Un razzo si stacca dalla piattaforma di lancio e sale lungo la verticale con un'accelerazione di 10 m/s^2. Che velocità avrà dopo 8,5 s?

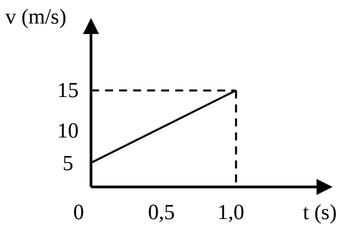
8 Un'auto viaggia a 108 km/h, poi inizia a frenare diminuendo la velocità di 1,5 m/s ogni secondo. Dopo quanto tempo si fermerà? Quale sarà lo spazio di frenata?
[20 s; 300 m]

9 Il grafico velocità-tempo di un punto in moto è rappresentato in figura. Descrivi le tre fasi e calcola lo spazio totale percorso.
[92 m]



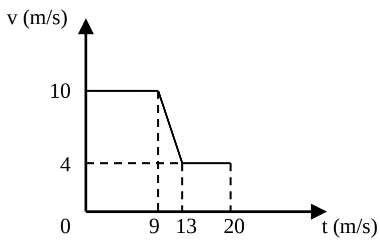
10 Un corpo si muove alla velocità di 30 m/s e accelerando uniformemente percorre 200 m in 10 s. Calcola l'accelerazione e la velocità raggiunta.
[4 m/s^2; 70 m/s]

11 È dato il moto rappresentato nel grafico.



Qual è la velocità iniziale? Qual è l'accelerazione? Calcola lo spazio percorso.
[10 m/s^2; 10 m]

12 Il grafico velocità-tempo di un punto in moto è rappresentato in figura. Descrivi le tre fasi e calcola lo spazio totale percorso.



[146 m]

13 Un vaso di fiori cade da un'altezza di 12 m. Dopo quanto tempo tocca il suolo? Con quale velocità?

[1,6 s; 15 m/s]

14 Una palla viene lanciata verso l'alto con velocità iniziale 10,0 m/s. Dopo quanto tempo si ferma? A che altezza arriva?

[1,02 s; 5,10 m]

4.2 – LE FORZE E IL MOVIMENTO

15 Un carrello di massa 25 kg ha ruote con attrito trascurabile. Quale forza dobbiamo applicare per imprimergli un'accelerazione di 0,95 m/s^2?

16 Una forza di 185 N agisce su una slitta che scivola senza attrito e le imprime un'accelerazione di 2,1 m/s^2. Qual è la massa della slitta?

17 Viene applicata la stessa forza di 200 N per spostare due oggetti, uno di 5 kg e uno di 10 kg. Quale sarà l'accelerazione che tale forza imprimerà sui due corpi?

18 A un corpo di massa 5 kg, inizialmente fermo, è applicata una forza costante di 12 N. Il corpo raggiunge una velocità di 36 m/s. Quanto spazio ha percorso?

[15 m]

19 Un corpo si muove su un piano liscio con velocità 18 km/h. A un certo istante gli viene applicata una forza di 14 N, che gli fa raggiungere la velocità di 54 km/h in 20 s. Qual è la massa del corpo? Disegna il diagramma della velocità.

[28 kg]

20 Un'auto di massa 1200 kg viaggia alla velocità di 90 km/h. Calcola la forza frenante supponendo che riesca a fermarsi in 5 s. Qual è lo spazio di frenata? Disegna il diagramma della velocità.

[6000 N; 62,5 m]

21 Calcola quale forza bisogna applicare a una moto di 400 kg perché in 25 s raggiunga la velocità di 72 km/h.

[320 N]

22 Un corpo di massa 2 kg viene spostato di 2 m da una forza nel tempo di 1 s. Calcola la forza e la velocità raggiunta.

[8 N; 4 m/s]

23 Un oggetto di massa 2 kg striscia con un coefficiente d'attrito μ = 0,15. Calcola la forza necessaria perché si muova con un'accelerazione di 4 m/s^2.

[5,06 N]

24 Un disco a ghiaccio secco di massa pari a 240 g ne urta un altro di massa pari a 360 g. Il primo disco acquista un'accelerazione di 4,2 m/s^2. Qual è l'accelerazione del secondo disco?

[2,8 m/s^2]

MODULO 5

Lavoro ed energia

- Il lavoro e la potenza
- L’energia: forme, trasformazioni, conservazione

5.1 – IL LAVORO E LA POTENZA

LAVORO

Si dice che una forza compie **lavoro** quando provoca uno spostamento del corpo a cui è applicata. Dato che forza e spostamento sono vettori, occorre distinguere due casi:

- *Forza e spostamento hanno la stessa direzione*.

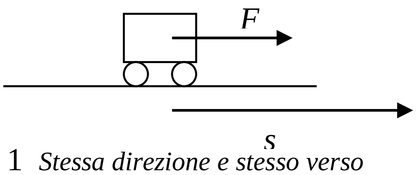


fig. 1 *Stessa direzione e stesso verso*

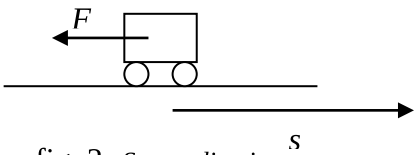


fig. 2 *Stessa direzione e verso opposto*

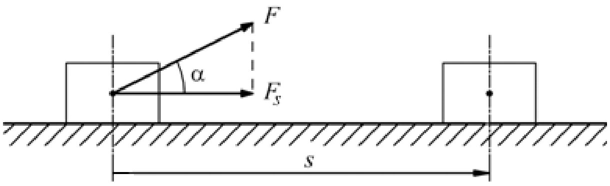
In questo caso ***il lavoro è dato dal prodotto della forza per lo spostamento***:

$$L = F \cdot s$$

Se anche il verso è lo stesso (fig. 1) il lavoro è positivo e si dice *lavoro motore*.
Se il verso è opposto (fig. 2) il lavoro è negativo e si dice *lavoro resistente*:

$$L = - F \cdot s$$

- *Forza e spostamento hanno direzioni diverse*.

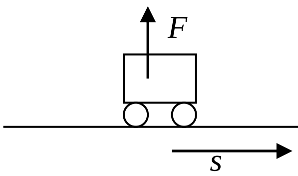


In questo caso solo una parte della forza compie lavoro: la componente F_s nella direzione dello spostamento. Il lavoro si calcola allora:

$$L = F_s \cdot s$$

fig.3

Se la forza è perpendicolare allo spostamento, non compie alcun lavoro:



$$L = 0$$

fig.4

Dalla definizione si deduce l'unità di misura del lavoro nel S.I.: Newton · metro [N·m]. Questa unità di misura si chiama **Joule** [**J**]:

$$1\ J = 1\ N \cdot 1\ m$$

POTENZA

Lo stesso lavoro può essere compiuto più o meno rapidamente. Per esempio per portare un secchio di cemento al terzo piano un muratore e il montacarichi devono compiere lo stesso lavoro, ma il montacarichi lo esegue più rapidamente perché è più potente.

*La **potenza** è la rapidità con cui una forza compie lavoro ed è pari al **rapporto fra il lavoro compiuto e il tempo impiegato**:*

$$P = \frac{L}{\Delta t}$$

Nel S.I. l'unità di misura del lavoro è il **Watt [W]**:

$$1\ W = 1\ J / 1\ s$$

5.2 – L'ENERGIA: FORME, TRASFORMAZIONI, CONSERVAZIONE

Possiamo definire l'**energi**a come *capacità di un sistema fisico di compiere lavoro.*
Esistono molte forme di energia, alcune delle quali sono elencate nella tabella.

Tipo di energia	**Chi la possiede**
Energia Cinetica	Un corpo in movimento
Energia Potenziale Gravitazionale	Un corpo che sta in alto rispetto al suolo
Energia Potenziale Elastica	Una molla allungata o compressa
Energia Elettrica	Un sistema di cariche elettriche
Energia Interna di un corpo	Atomi e molecole di un corpo in movimento caotico
Energia Elettromagnetica	Onde elettromagnetiche
Energia Nucleare	Nuclei degli atomi

L'energia si trasforma continuamente passando da una forma all'altra attraverso una forza che compie lavoro. Per esempio quando un atleta fa un salto con l'asta si hanno queste trasformazioni:

Energia cinetica della corsa dell'atleta → *Energia elastica dell'asta* → *Energia gravitazionale dell'atleta* → *Energia cinetica di caduta dell'atleta*

forza dell'atleta che curva l'asta — forza dell'asta che porta l'atleta in alto — forza di gravità sull'atleta

Quindi il lavoro non è altro che *energia in transito*, cioè misura quanta energia si trasforma da una forma all'altra. Anche l'energia si misura quindi in **Joule [J]**.

L'ENERGIA CINETICA

Un oggetto in movimento possiede energia. Definiamo energia cinetica E_c di un corpo di massa m e velocità v il prodotto

$$\boldsymbol{E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2}$$

Possiamo dimostrare che l'energia cinetica rappresenta il lavoro che deve compiere una forza per portare un corpo fermo di massa m fino alla velocità v.

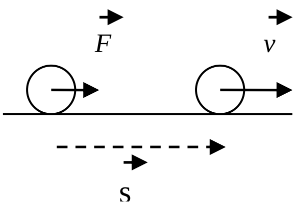


fig.5

Partiamo dalla definizione di lavoro: $L = F \cdot s$.
Ricordiamo le leggi del moto uniformemente accelerato (partenza da fermi) e il 2° principio della dinamica:

$$s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \qquad v = a \cdot t \qquad F = m \cdot a$$

Sostituendo si ottiene:

$$L = F \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = m \cdot a \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot a^2 \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

In generale se un corpo ha un'energia cinetica iniziale e una forza compie un lavoro su di esso, l'energia cinetica varia di una quantità pari al lavoro. Si può dire che

→ *il lavoro è uguale alla variazione di energia cinetica:*

$$\boldsymbol{L = E_{c2} - E_{c1}}$$

L'ENERGIA POTENZIALE GRAVITAZIONALE

Un corpo che si trova a una certa altezza dal suolo possiede energia, perché scendendo la sua forza peso può compiere lavoro. Questo corpo, anche se è fermo, ha energia perché occupa una certa posizione. Si dice che ha **energia potenziale gravitazionale**, perché è dovuta all'attrazione della Terra.

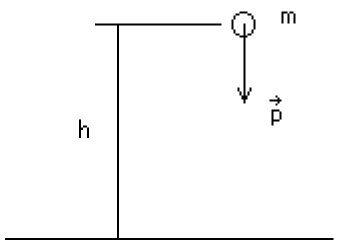


fig.6

Calcoliamo il lavoro della forza peso nella caduta di una massa *m* dall'altezza *h* al livello 0:

$$L = F \cdot s = P \cdot h = m \cdot g \cdot h$$

Si dice allora che il corpo quando si trovava all'altezza *h* aveva un'**energia potenziale gravitazionale**

$$\boldsymbol{U_g = m \cdot g \cdot h}$$

Se la caduta va da un livello h_1 a un livello h_2, il lavoro è dato da

$$L = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2) = m \cdot g \cdot h_1 - m \cdot g \cdot h_2 = U_{g1} - U_{g2}$$

Si può dire che

→ *il lavoro è uguale alla variazione di energia potenziale gravitazionale:*

$$\boldsymbol{L = U_{g1} - U_{g2}}$$

L'ENERGIA POTENZIALE ELASTICA

Una molla compressa o allungata è in grado di compiere lavoro quando viene rilasciata, quindi possiamo dire che possiede un'**energia potenziale elastica**, corrispondente al lavoro compiuto dalla forza elastica per riportare la molla nella posizione di riposo. Calcoliamo questo lavoro.

Ricordiamo che la forza elastica è direttamente proporzionale alla deformazione *x* della molla:

$$F = k \cdot x$$

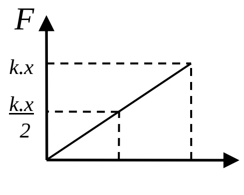


fig.8

Questa forza non è costante durante lo spostamento *x*. Per calcolare il lavoro prendiamo allora il suo valore medio:

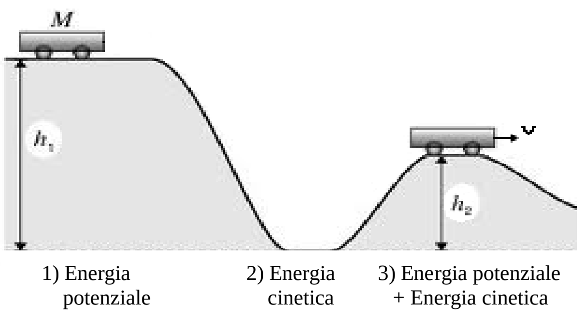
$$F = \frac{0 + k \cdot x}{2} = \frac{k \cdot x}{2}$$

$$L = \frac{k \cdot x \cdot x}{2} = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2$$

Si può quindi concludere che una molla deformata di un tratto x ha un'**energia potenziale elastica**:

$$\boldsymbol{U_e = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2}$$

LA CONSERVAZIONE DELL'ENERGIA MECCANICA



Nelle montagne russe quando il carrello scende l'energia potenziale gravitazionale si trasforma in energia cinetica; viceversa quando sale perde energia cinetica e acquista energia potenziale. Se nel moto non sono presenti attriti la loro somma (che si chiama **energia meccanica**) rimane costante:

fig.7

→ *in assenza di attriti la somma di energia potenziale ed energia cinetica, cioè l'energia meccanica, si conserva.*

$$\boldsymbol{U_g + E_c = costante}$$

Nella posizione 1 (fig.7) il carrello fermo all'altezza h_1 ha solo energia potenziale. Alla fine della discesa nella posizione 2 l'energia è diventata tutta cinetica. A un'altezza intermedia (posizione 3) l'energia è in parte cinetica e in parte potenziale. In generale la perdita di energia potenziale è uguale all'acquisto di energia cinetica, quindi possiamo scrivere:

$$U_{g1} - U_{g2} = E_{c2} - E_{c1}$$

che è equivalente a:

$$\boldsymbol{U_{g1} + E_{c1} = U_{g2} + E_{c2}}$$

Esercizi

MODULO 5

5.1 – IL LAVORO E LA POTENZA

7 In un supermercato spingi un carrello per 10 m applicando una forza di 2,5 N. Quanto lavoro compi?

8 Marco pesa 60 kg e riesce a raggiungere la sommità della Tour Eiffel (altezza 300 m) in 15 minuti. Quanto lavoro compie? Quale potenza media ha utilizzato nella salita?

9 Un muletto compie un lavoro di 4300 J per sollevare un carico di massa 150 kg. A che altezza è stato sollevato il carico?

10 In un negozio di elettronica un addetto preleva uno stereo da uno scaffale alto 195 cm e lo deposita a terra, compiendo un lavoro di 197 J. Qual è la massa dello stereo?

11 Un montacarichi solleva fino al quarto piano, a 15 m da terra, un carico di 100 kg in 40 s. Qual è la potenza sviluppata?

12 Per fare spazio sulla scrivania, fai scivolare una pila di libri senza sollevarli. La massa dei libri è 4,5 kg. Qual è il lavoro della forza peso durante lo spostamento dei libri?

5.2 – L'ENERGIA: FORME, TRASFORMAZIONI, CONSERVAZIONE

13 Un'auto di massa 1000 kg viaggia a una velocità di 50 km/h. Calcola la sua energia cinetica.

14 Un carrello di massa 10 kg viene spinto con una forza di 100 N. Quale spostamento dovrà subire il carrello perché la sua velocità raggiunga i 10 m/s?

[5 m]

15 Un corpo si trova a un'altezza di 1 m dal suolo e ha un'energia potenziale di 10 J. Qual è il suo peso? Qual è il lavoro della forza peso quando il corpo cade a terra?

16 Una moneta di massa 10 g viene lanciata verso l'alto dal suolo con velocità 4 m/s. Calcola l'altezza massima raggiunta.

[0,82 m]

17 Un corpo di massa 10 kg viene lasciato cadere da un'altezza di 8 m. Quanto valgono l'energia cinetica e l'energia potenziale quando si trova a 4 m da terra? E l'energia meccanica?

[392 J; 784 J]

18 Una palla elastica di massa 0,5 kg viene lanciata verso il basso con velocità 4 m/s da un'altezza di 8 m. A quale altezza rimbalzerà?

[8,8 m]

19 Un'auto di massa 2000 kg viaggia in pianura a una velocità di 20 m/s. Supponendo di poter trascurare gli attriti, dimostra che può arrivare in folle in cima a una collinetta alta 15 m e calcola con che velocità.

[10,3 m/s]

20 Un carrello di massa 100 g in moto a velocità costante e senza attrito incontra una cunetta alta 10 m. Arriva in cima in folle con una velocità di 5 m/s. Qual era la sua velocità iniziale?

[14,9 m/s]

21 Una pallina di massa 50 g è attaccata a una molla di costante k = 40 N/m e oscilla su un piano orizzontale senza attrito con un'ampiezza massima di 0,6 m. Qual è la massima velocità raggiunta?

[17 m/s]

22 Un oggetto di massa 3 kg viene spinto con velocità 3 m/s da un'altezza di 2,5 m su una molla di costante elastica 20000 N/m fissata al pavimento. Di quanto sarà compressa la molla?

[9 cm]

MODULO 6

Termologia

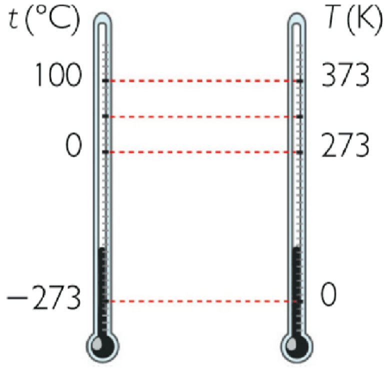
- La temperatura
- Il calore

6.1 – LA TEMPERATURA

La **temperatura** è la grandezza fisica che associamo allo stato termico di un corpo, legata alle sensazioni soggettive di caldo e freddo, misurabile in modo oggettivo attraverso uno strumento che chiamiamo *termometro*.
Esistono vari tipi di termometro. Fra i più comuni c'è il termometro a liquido, che fonda il suo funzionamento sul *principio dell'equilibrio termico* e sul fenomeno della *dilatazione termica*. Per misurare la temperatura di un corpo il termometro deve essere posto a contatto con esso, in modo da raggiungere la sua stessa temperatura; il liquido del termometro aumenta di volume in relazione all'aumento di temperatura.

SCALE TERMOMETRICHE

I termometri di uso comune utilizzano la **scala Celsius o centigrada**. Questa scala viene costruita fissando per convenzione uguale a 0 °C la temperatura del ghiaccio fondente e uguale a 100 °C quella dell'acqua bollente. Dividendo l'intervallo ottenuto in 100 parti uguali si ha la larghezza di un grado centigrado e la scala può essere estesa anche sopra 100 °C e sotto 0 °C.



Nel Sistema Internazionale l'unità di misura della temperatura è il ***Kelvin*** (**K**). In questa scala, detta **scala assoluta**, la variazione di 1 K è identica a quella di 1 °C, ma lo zero rappresenta davvero la minima temperatura immaginabile, detta *zero assoluto*. A questa temperatura, che corrisponde a -273 °C e che non è raggiungibile sperimentalmente, si annullerebbe l'agitazione termica molecolare. Nella scala assoluta non sono quindi possibili temperature negative, il ghiaccio fonde a 273 K e l'acqua bolle a 373 K (fig.2).
Per passare da °C a K si aggiunge 273:

$$T_K = t_{°C} + 273$$

fig.2

PRINCIPIO DELL'EQUILIBRIO TERMICO

→ *Se un corpo caldo viene messo a contatto con uno freddo, i due corpi raggiungono una temperatura di equilibrio intermedia fra quelle iniziali.*

Si può dire che c'è stato un passaggio di calore dal corpo più caldo a quello più freddo, che ha portato a una variazione di temperatura. Il **calore** non è altro che una forma di energia, detta *energia termica*, che passa da un sistema all'altro. Questo trasferimento fa cambiare la temperatura, che è legata all'agitazione termica delle molecole. In particolare:

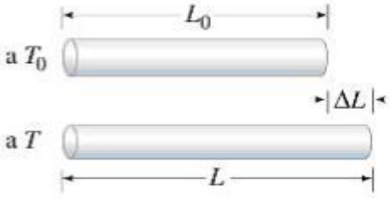
→ *La temperatura è direttamente proporzionale all'energia cinetica media delle molecole*

DILATAZIONE TERMICA

Tutti i corpi (solidi, liquidi o aeriformi) si dilatano, cioè aumentano di volume, quando sono riscaldati.
Per i corpi solidi di forma allungata si parla di **dilatazione termica lineare** (fig. 1).
Sperimentalmente si osserva che

→ *L'allungamento ΔL è direttamente proporzionale alla variazione di temperatura Δt e alla lunghezza iniziale L_0:*

$$\boldsymbol{\Delta l = \lambda \cdot L_0 \cdot \Delta t}$$



Il coefficiente di dilatazione lineare λ dipende dal materiale (tab.1) e si misura in K^{-1}:

$$\boldsymbol{\lambda = \frac{\Delta L}{L_0 \cdot \Delta t}}$$

fig.1

λ rappresenta l'allungamento di una barra lunga 1 m riscaldata di 1 K.

Dilatazione lineare dei solidi		Dilatazione di volume dei liquidi	
Sostanza	**λ (K^{-1})**	**Sostanza**	**α (K^{-1})**
Ferro / Acciaio	$12 \cdot 10^{-6}$	Alcol etilico	$11 \cdot 10^{-4}$
Alluminio	$23 \cdot 10^{-6}$	Mercurio	$1{,}8 \cdot 10^{-4}$
Diamante	$1{,}3 \cdot 10^{-6}$	Glicerina	$5{,}3 \cdot 10^{-4}$
Argento	$19 \cdot 10^{-6}$	Petrolio	$9{,}2 \cdot 10^{-4}$
Rame	$17 \cdot 10^{-6}$	Olio d'oliva	$7{,}2 \cdot 10^{-4}$
Piombo	$29 \cdot 10^{-6}$		
Zinco	$30 \cdot 10^{-6}$		
Vetro	$9 \cdot 10^{-6}$		
Cemento armato	$14 \cdot 10^{-6}$		

Tab. 1 – Coefficienti di dilatazione termica di alcune sostanze

Per un solido di forma qualunque la dilatazione avviene in tutte le direzioni, cioè interessa tutto il volume del solido. La legge della **dilatazione di volume** è analoga a quella lineare. Se ΔV indica la variazione di volume, e V_0 il volume iniziale, si ha:

$$\Delta V = \alpha \cdot V_0 \cdot \Delta t$$

Il coefficiente di dilatazione di volume α è uguale a tre volte λ.

$$\alpha = 3.\ \lambda$$

Questa legge vale anche nel caso dei liquidi, per i quali la dilatazione è sempre di volume. Il coefficiente α nei liquidi è più elevato che nei solidi (tab.1).

I gas, se riscaldati a pressione costante, si dilatano tutti con lo stesso coefficiente $\alpha = 3{,}7 \cdot 10^{-3}\ K^{-1}$, come si vede dalla 1ª legge di Gay-Lussac.

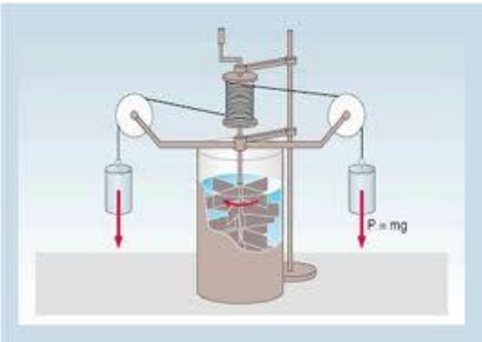
6.2 – IL CALORE

CALORE E LAVORO

Per riscaldare un corpo è possibile utilizzare un trasferimento di calore da un corpo più caldo oppure il lavoro compiuto da una forza. Per esempio si riscaldano le mani strofinandole fra loro o le gomme dell'auto in frenata strisciando sulla strada.

Nell''800 non era ancora stato compreso che anche il calore, come il lavoro, è una forma di energia. Si credeva infatti che si trattasse di un fluido misterioso che passava da un corpo all'altro e lo si misurava in calorie e chilocalorie:

→ *Una chilocaloria (kcal) è la quantità di calore per aumentare di 1 K la temperatura di 1 kg di acqua distillata (da 14,5 a 15,5 °C).*



Verso la fine del secolo J. P. Joule realizzò un famoso esperimento, che consentì di trovare quanto lavoro meccanico serve per ottenere lo stesso scopo. In un recipiente isolato (fig.2) l'acqua viene agitata da un mulinello a palette, azionato dalla discesa di due pesi, ripetuta più volte. Joule misurò il lavoro della forza peso e il lieve aumento di temperatura dell'acqua. Il risultato fu che

→ *per aumentare di 1 K la temperatura di 1 kg d'acqua occorre un lavoro di 4186 J.*

fig.2 Possiamo quindi concludere che ***1 kcal = 4186 J*** e misurare anche il calore in Joule, come ogni altra forma di energia.

CALORE SPECIFICO

Fornendo la stessa energia a corpi diversi non si ottiene lo stesso aumento di temperatura.

→ La quantità di energia termica Q per riscaldare un corpo da una temperatura t_1 a una temperatura t_2 è direttamente proporzionale alla sua massa m e alla variazione di temperatura $\Delta t = t_2 - t_1$:

$$\boldsymbol{Q = c \cdot m \cdot \Delta t}$$

Questa legge mette in relazione il calore scambiato con la variazione di temperatura ed è chiamata *equazione della calorimetria*.

La costante c dipende dal materiale e si chiama **calore specifico**. Ricavando c dalla formula si ottiene:

$$\boldsymbol{c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}}$$

Quindi:

→ *Il **calore specifico** è la quantità di calore necessaria per aumentare di 1 K la temperatura di 1 kg della sostanza*

L'unità di misura del calore specifico è J / kg.K.

Il prodotto fra il calore specifico e la massa si chiama **capacità termica**

$$\boldsymbol{C = c \cdot m}$$

e rappresenta *il calore necessario per aumentare di 1 K la temperatura di un corpo*.

Dall'esperimento di Joule deduciamo che il **calore specifico dell'acqua** è pari a *1 kcal / kg ·°C*, che nel SI corrisponde a ***4186 J / kg . K***. Come si vede dalla tabella questo valore è molto più alto di quello delle altre sostanze liquide e solide. Questo spiega perché il clima delle regioni costiere sia molto più mite che nelle regioni interne: il mare infatti assorbe molto calore in estate e lo cede lentamente in inverno, evitando le forti variazioni di temperatura.

Sostanza	**c (J / Kg . K)**	**Sostanza**	**c (J / Kg . K)**
Ferro	460	Vetro	800
Alluminio	880	Ghiaccio a 0°C	2090
Acciaio inox	502	**Acqua**	**4186**
Argento	240	Mercurio	138
Rame	387	Etanolo	2460
Piombo	130	Olio	~ 2000
Oro	129	Idrogeno	14400
Stagno	228	Aria secca	1005

Tab. 2 – Calore specifico di alcune sostanze a temperatura ambiente e a pressione atmosferica

IL CALORIMETRO

Conoscendo il calore specifico dell'acqua (*4186 J / kg · K*) è possibile misurare quello di un'altra sostanza mediante un **calorimetro**. Si tratta di un contenitore isolato termicamente, fornito di un termometro e di un agitatore (fig.3). Si procede così:

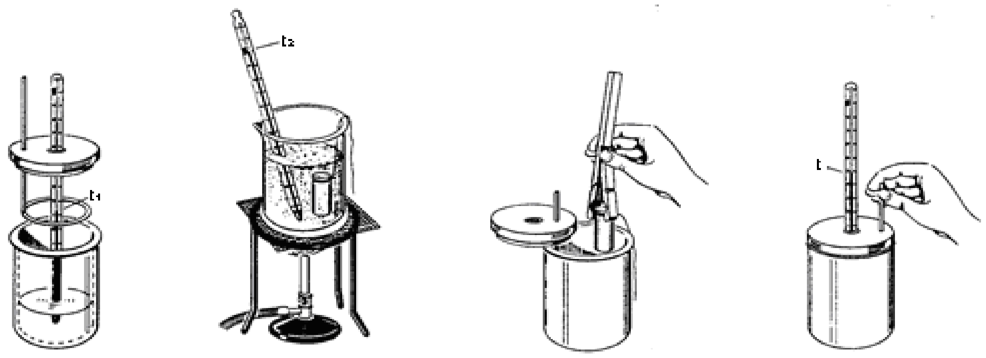
1) mettiamo nel calorimetro una massa $\boldsymbol{m_1}$ di acqua a temperatura $\boldsymbol{t_1}$ (fig.3a);
2) riscaldiamo l'oggetto di massa $\boldsymbol{m_2}$ fino alla temperatura $\boldsymbol{t_2}$ e lo immergiamo nel calorimetro (fig.3b-3c);
3) chiudiamo e mescoliamo, leggiamo infine la temperatura di equilibrio $\boldsymbol{t}$ (fig.3d).

Per poter ricavare il calore specifico dell'oggetto occorre quindi misurare:

$\boldsymbol{m_1}$ = massa dell'acqua — $\boldsymbol{t_1}$ = temperatura iniziale dell'acqua — $\boldsymbol{t}$ = temperatura di equilibrio

$\boldsymbol{m_2}$ = massa dell'oggetto — $\boldsymbol{t_2}$ = temperatura iniziale dell'oggetto

fig.3



a) b) c) d)

Con questi dati possiamo calcolare la quantità di calore acquistata dall'acqua ($c_1 = 4186\ J / kg \cdot K$) :

$$\boldsymbol{Q_1 = c_1 \cdot m_1 \cdot (t - t_1)}$$

La quantità di calore perduta dall'oggetto è invece data da:

$$\boldsymbol{Q_2 = c_2 \cdot m_2 \cdot (t_2 - t)}$$

Dato che il calorimetro non scambia calore con l'esterno le due quantità devono uguagliarsi:

$$\boldsymbol{c_2 \cdot m_2 \cdot (t_2 - t) = c_1 \cdot m_1 \cdot (t - t_1)}$$

In questa *equazione dell'equilibrio termico* l'unica incognita è $\boldsymbol{c_2}$. Risolvendola otteniamo:

$$\boldsymbol{c_2 = \frac{c_1 \cdot m_1 \cdot (t - t_1)}{m_2 \cdot (t_2 - t)}}$$

In realtà il calorimetro non è mai perfettamente isolato e assorbe anch'esso una piccola quantità di calore. Dato che non conosciamo il suo calore specifico, schematizziamo questa perdita simulando la presenza di una massa d'acqua in più, detta *massa equivalente in acqua del calorimetro* $\boldsymbol{m_e}$:

→ *la massa equivalente in acqua del calorimetro (*$\boldsymbol{m_e}$*) è la massa d'acqua che, se fosse presente, assorbirebbe la stessa quantità di calore che invece assorbe il calorimetro*

Nell'equazione precedente basta quindi aggiungere m_e a m_1:

$$\boldsymbol{c_2 \cdot m_2 \cdot (t_2 - t) = c_1 \cdot (m_1 + m_e) \cdot (t - t_1)}$$

$$\boldsymbol{c_2 = \frac{c_1 \cdot (m_1 + m_e) \cdot (t - t_1)}{m_2 \cdot (t_2 - t)}}$$

E' possibile ricavare sperimentalmente la massa equivalente mescolando nel calorimetro acqua calda e acqua fredda; in questo modo $c_2 = c_1 = 4186\ J / kg \cdot K$ e l'unica incognita diventa m_e.

L'equazione dell'equilibrio termico ci permette di risolvere anche il problema di sapere quale sarà la temperatura di equilibrio quando conosciamo tutti e due i calori specifici. Trascurando m_e:

$$\boldsymbol{t = \frac{c_1 \cdot m_1 \cdot t_1 + c_2 \cdot m_2 \cdot t_2}{c_1 \cdot m_1 + c_2 \cdot m_2}}$$

LA PROPAGAZIONE DEL CALORE

Il calore si propaga per *conduzione* attraverso i solidi, per *convezione* attraverso i fluidi e per *irraggiamento* anche attraverso lo spazio vuoto.

Conduzione

Il calore si propaga per conduzione sia all'interno di uno stesso corpo (per esempio se mettiamo una sbarra di metallo sulla fiamma dopo un po' non riusciamo più a tenerla), sia da un corpo all'altro (per esempio attraverso le pareti o i vetri delle finestre).

→ *Nella* **conduzione** *si ha trasporto di energia, ma non di materia*

La quantità di calore Q che in un certo tempo Δt attraversa una parete è direttamente proporzionale alla superficie S, direttamente proporzionale alla differenza di temperatura ΔT fra interno ed esterno, inversamente proporzionale allo spessore d:

$$\frac{Q}{\Delta t} = \frac{\lambda \cdot S \cdot \Delta T}{d}$$

Il coefficiente **λ** si chiama **coefficiente di conducibilità termica** e dipende dal materiale della parete. I buoni conduttori hanno λ alto, gli isolanti hanno λ basso. Per esempio per il ferro $\lambda = 80$ W / m·K, mentre per il legno $\lambda = 0{,}2$ W / m·K.

Convezione

→ *La **convezione** è un trasferimento di calore con trasporto di materia, dovuto alla presenza di correnti nei fluidi*

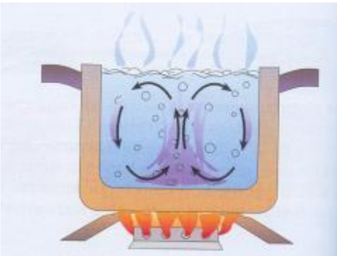


fig.4

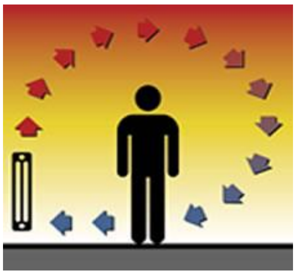


fig.5

In una pentola posta su un fornello l'acqua riscaldata si dilata e sale verso l'alto, quella fredda scende. Si formano così delle correnti convettive (fig.4).

Anche l'aria riscaldata intorno ai radiatori forma delle correnti analoghe, che riscaldano tutta la stanza (fig.5).

Irraggiamento

"Irraggiare" significa "emettere radiazioni". Tutti i corpi emettono e assorbono radiazioni elettromagnetiche (luce, raggi infrarossi, raggi ultravioletti, ecc.). Il calore del Sole giunge a noi in questa forma, attraverso lo spazio vuoto.

→ *L'**irraggiamento** è la trasmissione di calore attraverso il vuoto o i corpi trasparenti, sotto forma di onde elettromagnetiche*

I corpi caldi emettono radiazioni diverse a seconda della loro temperatura. Per esempio scaldando un pezzo di metallo all'inizio diventa rosso, poi giallo, infine bianco; il colore rappresenta la frequenza della radiazione emessa. Anche gli oggetti a temperatura ambiente emettono una radiazione, ma la frequenza è più bassa di quella della luce e non la vediamo: è la radiazione infrarossa.

Esercizi

MODULO 6

6.1 – LA TEMPERATURA

1 Esegui le seguenti conversioni:
35 °C = ……..… K   - 8 °C = ……… K
250 °C = ……… K   0 °C = ……… K

2 Esegui le seguenti conversioni:
20 K = ……..… °C   0 K = ……… °C
310 K = ……… °C   273 K = ……… °C

3 Una sbarra di metallo alla temperatura di 20 °C ha una lunghezza di 7 m. Alla temperatura di 80 °C la sua lunghezza diventa 7,006 m. Calcola il coefficiente di dilatazione lineare.

4 Lo spigolo di un cubo di alluminio a 0 °C è 24 cm. Calcola:
a. la lunghezza dello spigolo a 200 °C
b. il volume a 0 °C e a 200 °C

5 Compro una matassina di rame lunga 50 m alla temperatura di 16 °C. Qual è la sua lunghezza se viene lasciata al sole e la sua temperatura diventa 42 °C?

6 1 L di olio si trova alla temperatura di 10 °C. Riscaldandolo il suo volume aumenta di 0,1 L. Quanto è aumentata la temperatura?

6.2 – IL CALORE

7 A quanti Joule corrispondono 12 kcal?

8 A quante calorie corrispondono 250 J?

9 Uno scaldabagno elettrico riscalda da 10 °C a 60 °C una massa di 100 kg d'acqua. Quanta energia ha fornito lo scaldabagno?

10 A un oggetto di rame viene fornita una quantità di calore di 60 kJ e la sua temperatura aumenta di 40 °C. Qual è la sua massa?

11 Un corpo di massa 4 kg assorbe una quantità di calore pari a 2,4 kcal e aumenta la temperatura di 12 °C. Qual è il suo calore specifico (in unità SI)?

12 Togliamo dal freezer 250 g di ghiaccio. Fornendo 9000 J di calore esso raggiunge la temperatura di fusione (0 °C). Qual era la sua temperatura iniziale?

13 Immergendo un corpo di massa 400 g e temperatura 270 °C in un recipiente isolato con 1 L d'acqua a 25 °C la temperatura dell'acqua sale a 28 °C. Di che materiale è fatto?

[piombo]

14 In un calorimetro di massa equivalente in acqua m_e = 50 g, si trovano 250 g di acqua a 15 °C. Introducendo un blocco di ferro di massa 100 g alla temperatura di 90 °C quale sarà la temperatura di equilibrio?

[17,7 °C]

15 In un calorimetro contenente 180 g di acqua a 10 °C si versano 300 g di acqua a 50 °C. Sapendo che la temperatura di equilibrio è 34 °C, determinare la massa equivalente in acqua del calorimetro.

[20 g]

16 In un calorimetro di massa equivalente 20 g si trovano 130 g d'acqua a 20 °C. Introducendo un blocco di rame di massa 100 g si ottiene una temperatura finale di 23,5 °C. Qual era la temperatura iniziale del rame?

[80,3 °C]

17 Tra le due facce di una parete di spessore 30 cm esiste una differenza di temperatura di 10 °C. Il coefficiente di conducibilità termica è 0,13 W/m·K. Calcola il calore disperso ogni secondo attraverso la superficie di 1 m^2. E in un giorno?

[4,3 J/s; $3{,}7 \cdot 10^5$ J]

MODULO 7

Termodinamica

- Scambi di energia e primo principio
- Macchine termiche e secondo principio

7.1 – SCAMBI DI ENERGIA E PRIMO PRINCIPIO

VARIABILI TERMODINAMICHE

La Termodinamica studia il comportamento di sistemi formati da un numero enorme di particelle, in relazione ai loro scambi di energia con l'ambiente esterno.

Come avete visto studiando le trasformazioni dei gas perfetti (vedi *Chimica*), lo stato di un "sistema termodinamico" viene descritto da alcune grandezze che lo caratterizzano nel suo insieme:

Temperatura (T)
Pressione (p)
Volume (V)

Si tratta di grandezze 'macroscopiche', che quindi possiamo misurare direttamente, ma il loro valore rappresenta in realtà una media statistica di proprietà microscopiche delle molecole, come l'agitazione termica e gli urti sulle pareti del recipiente.

LEGGI DEI GAS PERFETTI

Le leggi dei gas perfetti sono relazioni fra queste tre grandezze. Lo schema seguente ne riporta una sintesi:

Trasformazione **ISOTERMICA** **(T costante)**	Trasformazione **ISOBARA** **(p costante)**	Trasformazione **ISOCORA** **(V costante)**
Legge di BOYLE $\boldsymbol{p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2}$	1ª legge di GAY-LUSSAC $\boldsymbol{V_2 / V_1 = T_2 / T_1}$	2ª legge di GAY-LUSSAC $\boldsymbol{p_2 / p_1 = T_2 / T_1}$
A temperatura costante, pressione e volume sono inversamente proporzionali.	*A pressione costante, il volume è direttamente proporzionale alla temperatura assoluta.*	*A volume costante, la pressione è direttamente proporzionale alla temperatura assoluta.*

Quando nessuna delle tre variabili è costante, la legge che le lega (equazione di stato) è la seguente:

$$\frac{p_2 . V_2}{T_2} = \frac{p_1 . V_1}{T_1}$$

TRASFORMAZIONI DI ENERGIA

Consideriamo come sistema termodinamico un gas perfetto contenuto in un cilindro chiuso da un pistone mobile (fig.1) e sottoponiamolo a una trasformazione isobara, per esempio mettendolo su un fornello acceso. Il gas scambia energia con l'ambiente in due modi:

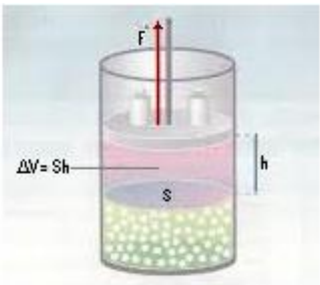


fig.1

1. assorbe **calore** dal fornello;
2. compie **lavoro** sul pistone, espandendosi.

Dato che il gas si riscalda, una parte dell'energia assorbita resta all'interno sotto forma di agitazione termica delle molecole. Si dice allora che è aumentata l'**energia interna** del gas.

→ *L'**energia interna** di un gas perfetto è la somma delle energie cinetiche delle sue molecole ed è dunque direttamente proporzionale alla temperatura assoluta.*

LAVORO IN UNA TRASFORMAZIONE

Come sappiamo il lavoro di una forza è il prodotto della forza per lo spostamento.

$$L = F \cdot h$$

Nel nostro caso la forza esercitata sul pistone è dovuta alla pressione del gas.

$$p = F / S$$

Quindi possiamo scrivere:

$$L = p \cdot S \cdot h = p \cdot \Delta V$$

dove $\Delta V = S \cdot h$ è l'aumento di volume del gas.
Quindi il lavoro compiuto dal gas nella sua espansione a pressione costante è

$$\boldsymbol{L = p \cdot \Delta V}$$

Dato che il volume è aumentato il lavoro risulta positivo. In generale:

→ *Il lavoro è positivo (**L>0**) se è compiuto dal gas verso l'esterno (espansione: $\Delta V>0$)*
→ *Il lavoro è negativo (**L<0**) se è compiuto dall'esterno sul gas (compressione: $\Delta V<0$)*

Nel grafico pressione-volume un'isobara è una linea orizzontale. Si vede quindi che il lavoro è rappresentato dall'area sotto il grafico, che è un rettangolo (fig.2a). Anche in una trasformazione qualsiasi si dimostra che il lavoro è sempre dato dall'area sotto la curva (fig.2b). Se la trasformazione è ciclica il lavoro è uguale all'area contenuta all'interno del grafico (fig.2c).

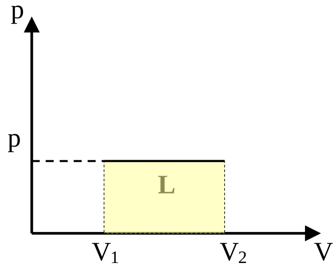


fig.2a

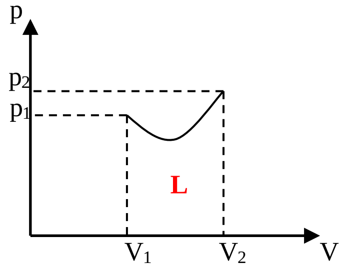


fig.2b

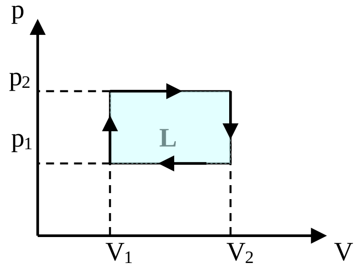


fig.2c

PRIMO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Per scrivere il bilancio energetico di una trasformazione dobbiamo tener conto anche del segno del calore scambiato ***Q***:

→ *Il calore è positivo (**Q>0**) se è assorbito dal gas dall'esterno*
→ *Il calore è negativo (**Q<0**) se è ceduto dal gas verso l'esterno*

Con riferimento all'espansione a pressione costante dei paragrafi precedenti, possiamo dire che il sistema:

- ha guadagnato energia perché ha assorbito calore dall'ambiente *(Q>0)*;
- ha perso energia perché ha compiuto un lavoro sul pistone *(L>0)*;
- ha aumentato la sua energia interna perché si è riscaldato *(ΔU>0)*.

Poiché l'energia totale si conserva,
→ la variazione dell'energia interna è uguale alla differenza fra calore assorbito e lavoro compiuto

$$\boldsymbol{\Delta U = Q - L}$$

Questa espressione della conservazione dell'energia è una legge molto importante, perché si applica a tutti i sistemi e non solo ai gas perfetti. È stata scoperta nell'800 e si chiama **primo principio della termodinamica**.

APPLICAZIONI DEL PRIMO PRINCIPIO

Vediamo quali informazioni dà il primo principio sulle altre trasformazioni dei gas perfetti.

- **Trasformazioni isocore** (a volume costante)

In questo caso il pistone non si sposta e il volume resta costante *(ΔV=0)*. Quindi il gas non compie lavoro *(L=0)* e il primo principio diventa:

$$\boldsymbol{\Delta U = Q}$$

Se il gas si riscalda possiamo dire che tutto il calore assorbito si trasforma in energia interna.

Se il gas si raffredda il calore ceduto è a spese dell'energia interna.

- **Trasformazioni isotermiche** (a temperatura costante)

Se la temperatura non varia resta costante anche l'energia interna del gas *($\Delta U=0$)*. Il primo principio è allora:

$$\boldsymbol{Q - L = 0 \qquad \rightarrow \qquad Q = L}$$

Si può quindi dire che in un'espansione isotermica il calore assorbito *($Q>0$)* si trasforma completamente in lavoro *($L>0$)* e in una compressione il lavoro compiuto sul gas *($L<0$)* viene ceduto all'ambiente sotto forma di calore *($Q<0$)*.

- **Trasformazioni adiabatiche** (senza scambi di calore)

Supponiamo che il gas sia contenuto in un recipiente isolato, come un thermos. In questo caso il gas non può scambiare calore con l'ambiente *($Q = 0$)*. Il primo principio diventa:

$$\boldsymbol{\Delta U = - L}$$

Diminuendo la pressione sul pistone possiamo far espandere il gas: il volume aumenta, la pressione diminuisce. Non potendo scambiare calore il gas compie lavoro positivo *($L>0$)* a spese della sua energia interna, che di conseguenza diminuisce *($\Delta U<0$)*.

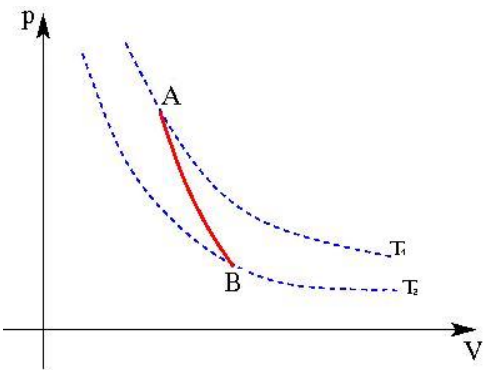


fig.3

Quindi in un'espansione adiabatica il gas si raffredda (esempio: bombolette spray). In fig.3, passando da A a B la temperatura scende da T_1 a T_2.

Viceversa in una compressione adiabatica il lavoro è negativo e l'energia interna aumenta, cioè il gas si riscalda (esempio: pompa da bicicletta).

- **Trasformazioni cicliche**

Sono quelle trasformazioni in cui il gas torna allo stato iniziale, rappresentate nel diagramma p-V da una curva chiusa. In un ciclo l'energia interna finale è uguale a quella iniziale, quindi in totale la variazione dell'energia interna è zero. Dal 1° principio si ottiene allora:

$$\Delta U = 0 \qquad \rightarrow \qquad Q_T - L_T = 0 \quad \rightarrow \qquad \boldsymbol{L_T = Q_T}$$

Quindi in una trasformazione ciclica il lavoro compiuto dal gas è uguale alla somma dei calori scambiati.

7.2 – MACCHINE TERMICHE E SECONDO PRINCIPIO

MACCHINE TERMICHE

Come abbiamo visto, il 1° principio della termodinamica ci assicura che l'energia si trasforma da una forma all'altra ma in totale resta la stessa. In particolare è possibile trasformare lavoro in calore ma anche calore in lavoro, senza alcuna limitazione. In pratica le due trasformazioni non sono equivalenti: il lavoro si trasforma spontaneamente in calore (per esempio nei fenomeni di attrito o nel passaggio di corrente in un filo elettrico), mentre non è vero il viceversa.

I primi tentativi di convertire il calore in energia meccanica risalgono al '700, quando per ragioni economiche, legate alla Rivoluzione Industriale, furono inventate le prime macchine termiche (macchina a vapore).

→ *Una* ***macchina termica*** *è un dispositivo che trasforma calore in lavoro attraverso una trasformazione ciclica*

Le prime macchine a vapore trasformavano in lavoro solo il 2 – 4 % del calore utilizzato, mentre una turbina dei nostri tempi ne trasforma il 45 %. La domanda è: sarebbe possibile per una macchina, con il progresso tecnologico, arrivare a trasformare in lavoro tutto il calore assorbito?

SECONDO PRINCIPIO DELLA TERMODINAMICA

Per rispondere consideriamo le caratteristiche di funzionamento di una semplice macchina termica. Per trasformare calore in lavoro possiamo scaldare il gas con il calore proveniente da una certa *sorgente calda*. Il gas si dilata e compie lavoro spingendo il pistone, che arriva fino a fine corsa. A questo punto è necessario riportarlo al punto di partenza. Possiamo farlo comprimendo il gas, ma il lavoro negativo necessario è almeno uguale a quello positivo fatto prima dal gas e non otterremmo alcun vantaggio; oppure potremmo mettere il gas a contatto con una *sorgente fredda*, ma raffreddandosi il gas cederebbe ad essa una parte dell'energia.

In poche parole la macchina termica deve lavorare su un ciclo e per questo motivo non può trasformare tutto il calore in lavoro, ma deve cederne una parte alla sorgente fredda.

Secondo principio della termodinamica:

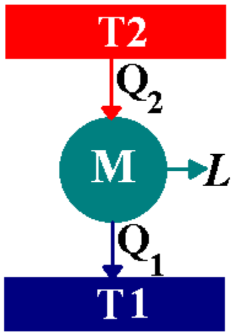
→ *È impossibile realizzare una trasformazione ciclica che trasformi in lavoro tutto il calore prelevato da una sola sorgente*

Per esempio il motore dell'automobile è una macchina termica che assorbe il calore della miscela aria-benzina (sorgente calda) e cede calore all'ambiente (sorgente fredda) attraverso lo scarico.

RENDIMENTO

Indichiamo con

- Q_2 il calore (positivo) che la macchina assorbe dalla sorgente calda alla temperatura assoluta T_2
- $-Q_1$ il calore (negativo) che la macchina cede alla sorgente fredda alla temperatura assoluta T_1
- L il lavoro utile prodotto dalla macchina (fig.4)



Per il primo principio il lavoro in un ciclo è uguale al calore totale scambiato:

$$L = Q_2 - Q_1$$

Il **rendimento** di una macchina termica è il rapporto fra il lavoro compiuto L e il calore assorbito Q_2:

$$\eta = \frac{L}{Q_2}$$

e si può anche scrivere

$$\eta = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2} = 1 - \frac{Q_1}{Q_2}$$

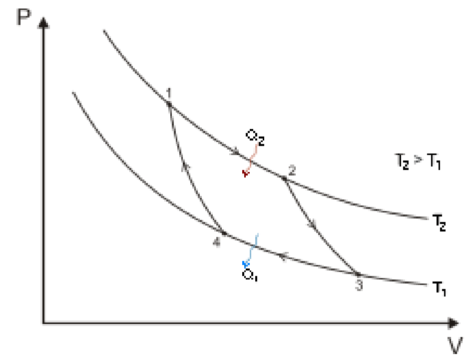
fig.4

Il rendimento è un numero. Moltiplicando per 100 si ottiene il valore in percentuale. Dall'ultima espressione si vede che η è sempre minore di 1 (100%). Diventerebbe uguale a 1 se Q_1 fosse uguale a zero, cioè se la macchina non cedesse calore alla sorgente fredda; ma questo è proibito dal secondo principio. In tabella 1 sono riportati i rendimenti di alcuni tipi di macchina termica.

Macchina termica	***Rendimento***	***Macchina termica***	***Rendimento***
Macchina a vapore	2%	Motore a benzina	20 – 30 %
Locomotiva a vapore	8%	Centrale nucleare	30 – 35 %
		Centrale termoelettrica convenzionale	30 – 40 %

Tab.1

Posto che il rendimento non può mai raggiungere il 100 %, resta da stabilire quale sia il suo valore massimo. Il problema è stato risolto nell'800 dallo scienziato francese Sadi Carnot, che ha scoperto che il massimo rendimento si ottiene con un ciclo di trasformazioni che si chiama appunto ***ciclo di Carnot***, composto da due trasformazioni isotermiche e da due adiabatiche.



1→2 Espansione isotermica:

il gas assorbe il calore (Q_2) dalla sorgente calda (T_2)

2→3 Espansione adiabatica:

il gas si raffredda fino a T_1

3→4 Compressione isotermica:

il gas cede calore (Q_1) alla sorgente fredda (T_1)

4→1 Compressione adiabatica:

il gas si riscalda fino a T_2

fig.5

Il rendimento del ciclo di Carnot, detto anche rendimento ideale, è dato da:

$$\eta_{max} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

Si vede che η_{max} potrebbe essere uguale a 1 se T_1 fosse zero. Ma questo è impossibile perché T_1 e T_2 sono le temperature in *Kelvin*, e la macchina dovrebbe cedere calore a una sorgente allo zero assoluto, che sappiamo non essere raggiungibile.

Per avere un alto rendimento occorre comunque che il dislivello fra le temperature sia il più alto possibile e dato che T_1 è quasi sempre la temperatura ambiente, questo si ottiene aumentando T_2, con l'uso di alte e costose tecnologie.

Esercizi

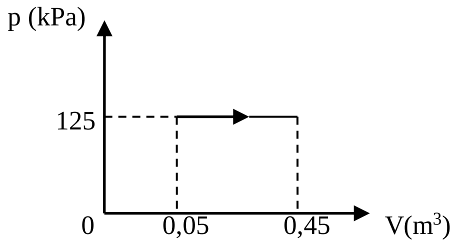
MODULO 7

7.1 – SCAMBI DI ENERGIA E PRIMO PRINCIPIO

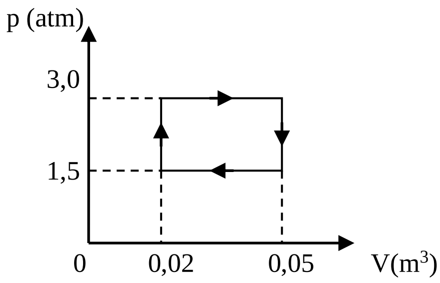
1 Un gas si espande mantenendo la pressione costante di 210 kPa. Il suo volume passa da 20 cm^3 a 75 cm^3. Qual è il lavoro compiuto dal gas?

2 Un sistema termodinamico compie un lavoro di 640 kJ, mentre la sua energia interna diminuisce di 250 kJ. Qual è il calore assorbito dal sistema?

3 Un gas perfetto si espande a pressione costante come descritto dal grafico. Nel corso del processo il gas assorbe dall'esterno una quantità di calore di 120 kJ. Quanto lavoro compie il sistema? Qual è la variazione della sua energia interna?



4 Calcola il lavoro totale compiuto da un gas mentre esegue il ciclo di trasformazioni raffigurato. Quanto vale il calore totale scambiato? E la variazione dell'energia interna?



5 Un gas alla pressione costante di 2 atm varia il suo volume da 1500 a 500 cm^3 e la sua energia interna diminuisce di 104 J. Quanto calore cede all'ambiente?

6 Un gas è contenuto in un cilindro di sezione 78 cm^2, con un pistone mobile che comprime il gas con una forza di 157 N. Assorbendo calore il volume aumenta di 10 dm^3 e l'energia interna aumenta di 100 cal. Qual è il calore fornito?

[620 J]

7 Un gas contenuto in un cilindro è in equilibrio quando sul pistone di area 100 cm^2 è posta una massa di 10 kg. Fornendo al gas 10 cal il pistone si solleva di 4 cm. Calcolare la pressione e la variazione dell'energia interna.

[9800 Pa; 38 J]

7.2 – MACCHINE TERMICHE E SECONDO PRINCIPIO

8 Una locomotiva a vapore dell'Ottocento aveva un rendimento intorno all'8 %. Per ottenere un lavoro utile di 400 kJ, quanto calore si doveva assorbire dalla caldaia?

9 Se una macchina termica col rendimento del 20 % assorbe a ogni ciclo una quantità di calore pari a 1 kcal, quanto lavoro compie in un ciclo?

10 Se una macchina termica cede a ogni ciclo una quantità di calore pari a 60 cal, quanto ne deve assorbire per avere un rendimento del 30 %?

11 In un ciclo di Carnot le due sorgenti sono alle temperature di 127 °C e 19 °C. Se la macchina cede alla sorgente fredda 62 cal, quanto calore assorbe dalla sorgente calda? Quanto lavoro compie?

[356 J; 96 J]

12 In un ciclo di Carnot la temperatura della sorgente calda è 400 K, quanto deve valere quella della sorgente fredda perché il rendimento sia del 40 %?

13 In un ciclo di Carnot la macchina assorbe a ogni ciclo 150 cal da una sorgente a 150 °C, compiendo un lavoro di 200 J. Quanto calore cede alla sorgente fredda? A quale temperatura?

[428 J; 288 K]

14 In un ciclo di Carnot di rendimento 35 % la sorgente fredda è alla temperatura di 287 K. A che temperatura è la sorgente calda?

15 Un motore assorbe calore da una caldaia a temperatura 1500 K, fornendo 1200 kJ di lavoro a ogni ciclo. Nello stesso tempo il motore cede all'ambiente 2000 kJ, alla temperatura di 300 K. Confronta il rendimento del motore con il rendimento massimo teorico.

[37,5%; 80%]

MODULO 8

Cariche e correnti elettriche

- Forza e campo elettrico
- Corrente elettrica

8.1 – FORZA E CAMPO ELETTRICO

CARICHE ELETTRICHE E MODELLI ATOMICI

La scoperta e i successivi studi sulla corrente elettrica hanno dovuto superare molte difficoltà, dovute al suo legame con la struttura della materia a livello atomico.
Come sappiamo, le attuali conoscenze sulla struttura atomica sono state raggiunte nel Novecento, ma alcune importanti tappe risalgono a molto tempo prima:

1) Nel ‘700 l’americano **B. Franklin** ipotizzò l’esistenza di due tipi di carica**:** le cariche elettriche possono essere positive e negative: cariche dello stesso segno si respingono, cariche di segno opposto si attraggono (fig.1). Inoltre la carica elettrica si conserva.

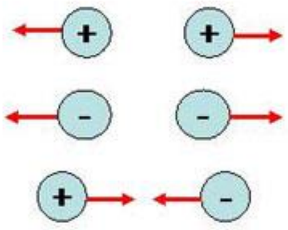


fig.1

2) Nel 1897 l’inglese **J. J. Thomson** scoprì l’elettrone, particella di carica negativa e di massa molto piccola (~10^{-30} kg); la carica dell’elettrone, detta ‘carica elementare’ perché è la minima esistente in natura, è

$$e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\,C$$

(C = *Coulomb*)

3) Nel 1911 **E. Rutherford**, come conseguenza di una famosa esperienza, propose il primo *modello atomico “planetario”*, secondo il quale l’atomo ha un nucleo centrale positivo molto piccolo, di raggio ~10^{-15} m, ed elettroni che gli ruotano attorno, come i pianeti intorno al Sole, a distanza molto maggiore, pari a ~10^{-10} m (100000 volte più grande del nucleo).

fig.2

4) Nel 1913 **N. Bohr** presentò il modello attuale dell’atomo, o *modello atomico “quantizzato”:*

fig.3

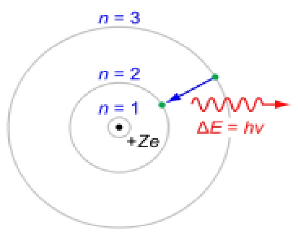


fig.4

- gli elettroni non possono ruotare intorno al nucleo su un’orbita qualunque, ma solo su alcune orbite prestabilite, ciascuna corrispondente a un raggio e a un’energia ben precisa (livelli energetici) (fig. 3);
- l’elettrone può acquistare solo l’energia corrispondente al salto fra due livelli e in tal caso salta su un’orbita superiore; quando la perde scende in un’orbita inferiore;
- il salto di energia è proporzionale alla frequenza dell’onda elettromagnetica emessa o assorbita (fig. 4).

Oggi sappiamo che nel nucleo si trovano i protoni, particelle positive con carica uguale a quella dell’elettrone e massa 1000 volte più grande. Insieme ai protoni possono esserci anche i neutroni, che hanno circa la stessa massa, ma non hanno carica.
Poiché gli atomi sono neutri il numero di protoni è uguale a quello degli elettroni, si chiama **numero atomico** e si indica con *Z*. Ordinando gli elementi per numero atomico crescente si trova la *Tavola di Mendeleev* o **sistema periodico degli elementi**.

CONDUTTORI E ISOLANTI

I corpi sono generalmente neutri, come gli atomi di cui sono composti. Alcuni oggetti possono però essere elettrizzati per strofinio (per esempio quelli di plastica, di vetro, di ceramica), attraverso una perdita o un acquisto di elettroni. Essi trattengono la carica perché gli elettroni dei loro atomi non sono liberi di muoversi, ma occupano posizioni fisse.

→ Queste sostanze si chiamano **isolanti elettrici**.

Alcune sostanze, come i metalli, non riescono a trattenere la carica perché in esse gli elettroni sono liberi di muoversi, spostandosi con facilità da un atomo all'altro.

→ Queste sostanze si chiamano **conduttori**.

I **semiconduttori**, come il silicio e il germanio, hanno proprietà intermedie tra i conduttori e gli isolanti. Sono impiegati nei componenti elettronici dei circuiti integrati.

FORZA ELETTRICA: LEGGE DI COULOMB

Fra due cariche elettriche Q_1 e Q_2 si esercita una forza direttamente proporzionale alle cariche e inversamente proporzionale al quadrato della distanza (*legge di* ***Coulomb***):

$$F = K_0 \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{d^2}$$

con K_0 costante, che nel vuoto vale $9 \cdot 10^9$ N.m^2 /C^2.

La forza è attrattiva fra cariche di segno opposto e repulsiva fra cariche dello stesso segno (fig.5).

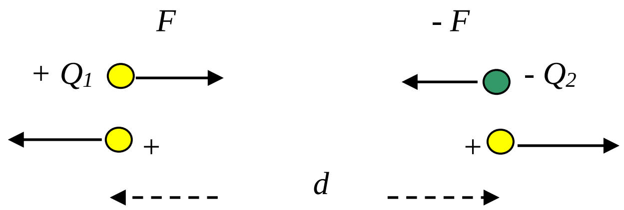


fig.5

CAMPO ELETTRICO

Un "*campo di forza*" è una zona di spazio dove si esercitano delle forze. Si tratta di un campo vettoriale, cioè a ogni punto è associato un vettore.

Data una carica Q, intorno ad essa si genera un Campo Elettrico. Possiamo misurarne l'intensità attraverso una piccola carica positiva, detta "carica di prova" q (fig.6):

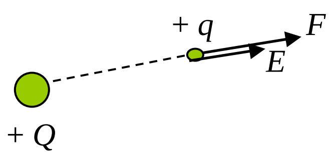


fig.6

→ Si definisce **Campo Elettrico** in un punto il rapporto fra la forza che agisce su una carica di prova posta nel punto e la carica stessa:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Utilizzando la legge di Coulomb si può vedere che il **campo elettrico generato dalla carica Q** non dipende dalla carica di prova, ma solo da quella che genera il campo, Q:

$$F = K_0 \cdot \frac{q \cdot Q}{d^2} \qquad\qquad E = \frac{F}{q} = K_0 \cdot \frac{Q}{d^2}$$

CONFRONTO CON FORZA E CAMPO GRAVITAZIONALE

Fra due masse M_1 e M_2 si esercita una forza direttamente proporzionale alle masse e inversamente proporzionale al quadrato della distanza (*legge di* ***Newton*** *della gravitazione universale*):

$$F = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{d^2}$$

con G costante universale, che vale $6{,}67 \cdot 10^{-11}$ N.m^2 /kg^2.
La forza è sempre attrattiva ed è molto più debole della forza elettrica.
Data una massa importante, per esempio quella della Terra (M_T), intorno ad essa si genera un Campo Gravitazionale. Possiamo misurarne l'intensità attraverso una piccola "massa di prova" *m*:

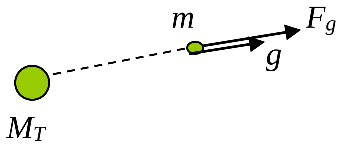


fig.7

Si definisce **Campo Gravitazionale** il rapporto fra la forza che agisce sulla massa di prova e la massa stessa:

$$\vec{g} = \frac{\vec{F}_g}{m}$$

Utilizzando la legge della gravitazione universale si può vedere che il **campo gravitazionale generato dalla massa** M_T non dipende dalla massa di prova, ma solo da M_T e dalla distanza R_T (raggio terrestre):

$$F_g = G \cdot \frac{m \cdot M_T}{R_T^{\,2}} \qquad\qquad g = \frac{F_g}{m} = G \cdot \frac{M_T}{R_T^{\,2}} = 9{,}81\ N/kg = 9{,}81\ m/s^2$$

g corrisponde infatti all'accelerazione di gravità, uguale per tutti i corpi sulla superficie della Terra.

LINEE DI FORZA

Il campo elettrico, come tutti i campi vettoriali, si rappresenta graficamente con le linee di forza.
Queste linee hanno in ogni punto il vettore campo elettrico come tangente e hanno il verso della forza che agisce su una carica positiva. Quindi per una carica puntiforme le linee di forza sono semirette uscenti (+) o entranti (-) nella carica (fig.8). Il campo non è uniforme, ma più intenso nelle vicinanze della carica, dove le linee sono più dense. Se vogliamo un campo uniforme, cioè uguale in tutti i punti, prendiamo due lastre metalliche parallele e le elettrizziamo con cariche uguali e opposte. Nella zona interna le linee del campo sono parallele e alla stessa distanza e vanno dal + al – (fig.9).

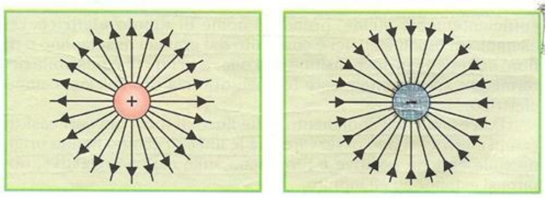


fig.8

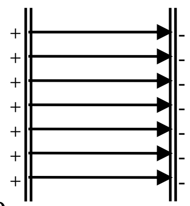


fig.9

Per distribuzioni di carica più complesse, occorre ricordare che vale il principio di sovrapposizione, cioè in ogni punto il campo elettrico è la risultante dei campi prodotti dalle singole cariche.

ENERGIA ELETTRICA E DIFFERENZA DI POTENZIALE

Il campo elettrico contiene energia, perché con la sua forza può spostare una carica, compiendo un *lavoro*. Anche in questo caso, come per il campo gravitazionale, possiamo definire un'*energia potenziale elettrica*.

→ L’**energia potenziale elettrica** di una carica in un punto è uguale al lavoro della forza elettrica per spostare la carica da quel punto al livello di riferimento.

Attraverso il lavoro del campo elettrico questa energia può trasformarsi in varie forme: energia luminosa nelle lampadine, energia cinetica nei motori elettrici, calore negli elettrodomestici come phon, tostapane, forno, ecc..

La *differenza di potenziale* rappresenta il “dislivello elettrico” fra due punti del campo, capace di mettere in moto una carica di prova, come se incontrasse una “discesa”, dal livello più alto a quello più basso.

→ La **differenza di potenziale** tra due punti A e B è il rapporto fra il lavoro della forza del campo per spostare una carica di prova da A a B e la carica di prova:

$$\Delta V = V_A - V_B = \frac{L_{A \to B}}{q^+}$$

La differenza di potenziale, chiamata anche *tensione*, nel Sistema Internazionale si misura in **Volt** (**V**):

$$1\ V = \frac{1\ J}{1\ C}$$

IL CONDENSATORE PIANO

→ Un **condensatore piano** è formato da due lastre metalliche parallele, elettrizzate con cariche uguali e opposte, poste a una distanza piccola rispetto alla loro estensione.

All’interno del condensatore il campo elettrico è uniforme (fig.9) e la differenza di potenziale è direttamente proporzionale alla carica posta sulle armature.

→ Il rapporto costante fra la carica e la differenza di potenziale si chiama **capacità** del condensatore:

$$C = \frac{Q}{\Delta V}$$

Nel Sistema Internazionale la capacità si misura in **Farad** (**F**):

$$1\ F = \frac{1\ C}{1\ V}$$

Quanto più è grande la capacità, tanta più carica può accumulare il condensatore a parità di tensione.
Il farad è un’unità molto grande, infatti i condensatori di uso comune hanno capacità dell’ordine del picofarad ($1\ pF = 10^{-12}\ F$) o del nanofarad ($1\ nF = 10^{-9}\ F$).

8.2 – CORRENTE ELETTRICA

INTENSITA’ DI CORRENTE

→ La **corrente elettrica** è un moto ordinato di cariche elettriche.

In un filo conduttore sono gli elettroni che si muovono, sotto la spinta di una differenza di potenziale mantenuta da un generatore.

→ Si definisce **intensità di corrente elettrica** il rapporto fra la carica che in un dato tempo attraversa una sezione del conduttore e il tempo:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Nel S.I. l’intensità di corrente si misura in ***Ampère [A]***:

$$1A = \frac{1C}{1s}$$

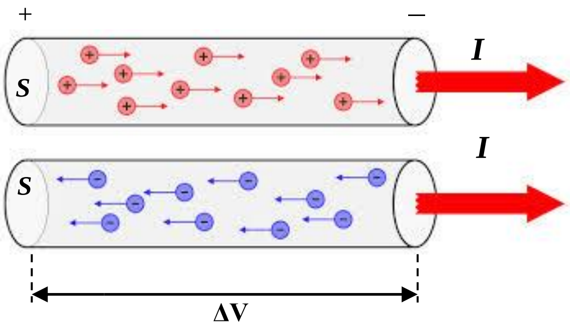


fig.10

Una corrente si dice **continua** se la sua intensità non cambia nel tempo.

Un **generatore di tensione continua** è un dispositivo capace di mantenere ai suoi capi una differenza di potenziale costante.

Ne sono esempi una pila, una batteria, una dinamo. In un generatore si distinguono due poli: positivo e negativo. Per molto tempo si è pensato che nei conduttori si muovessero le cariche positive. Ecco perché il **verso convenzionale della corrente elettrica** è dal polo positivo (+) al polo negativo (–), opposto cioè al moto degli elettroni (negativi), che sappiamo essere le uniche cariche in moto nei conduttori (fig.10).

CIRCUITI ELETTRICI

→ Un **circuito elettrico** è un insieme di elementi che, collegati fra loro, consentono il passaggio della corrente.

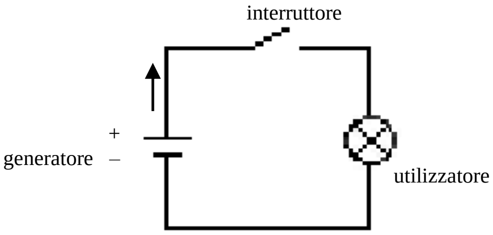


fig.11

Nel caso più semplice un circuito è formato da: un **generatore** (per es. pila), un **utilizzatore** (per es. lampadina), un **interruttore** e i conduttori di collegamento (fig.11).

La corrente passa quando l'interruttore è chiuso.

Nel circuito possono essere inseriti più utilizzatori, con due diversi tipi di collegamento: in **serie** e in **parallelo**.

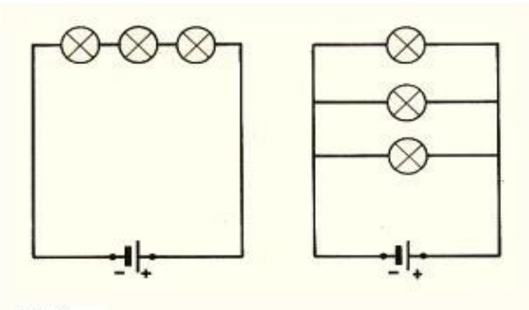


fig.12

→ Più utilizzatori sono collegati in **serie** se sono attraversati dalla **stessa corrente** (fig.12 a).

In questo caso sono posti in successione nel circuito, che viene quindi interrotto se uno solo degli utilizzatori si brucia.

→ Più utilizzatori sono collegati in **parallelo** se sono sottoposti alla **stessa differenza di potenziale** (fig.12 b).

In questo caso hanno le estremità connesse tra loro, a formare dei nodi. La corrente del generatore si divide nei vari rami, alimentando ciascun utilizzatore in modo indipendente. Questo è il collegamento adottato per l'impianto elettrico di casa, dove ai capi di ciascun utilizzatore c'è la tensione della rete (220 V).

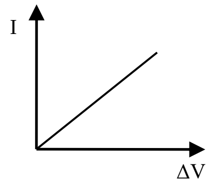
LEGGI DI OHM

I concetti di intensità di corrente e di tensione furono definiti con precisione dal fisico tedesco Georg Simon Ohm nell''800. Egli ricavò due importanti leggi sperimentali.

Prima legge di Ohm:

→ *L'intensità della corrente che attraversa un conduttore metallico è direttamente proporzionale alla differenza di potenziale ai suoi capi* (fig.13):

$$I = \frac{\Delta V}{R}$$



Si può anche scrivere:

$$\Delta V = R \cdot I$$

La costante ***R*** si chiama **resistenza elettrica** e la sua unità di misura è l'***Ohm*** **[Ω]:**

$$R = \frac{\Delta V}{I} \qquad 1\,\Omega = \frac{1V}{1A}$$

fig.13

La resistenza rappresenta la difficoltà che incontrano gli elettroni nel moto attraverso il conduttore. Se R è grande, a parità di tensione la corrente che circola è minore, se R è piccola, la corrente è maggiore.

Seconda legge di Ohm:

→ *La resistenza di un conduttore è direttamente proporzionale alla sua lunghezza e inversamente proporzionale alla sua sezione:*

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

Sostanza	ρ (Ω m)	Sostanza	ρ (Ω m)
Metalli		**Semiconduttori**	
Rame	$1.72 \cdot 10^{-8}$	Carbonio	$3.57\ 10^{-5}$
Argento	$1.63 \cdot 10^{-8}$	Germanio	45.4
Alluminio	$2.82 \cdot 10^{-8}$	Silicio	$6.25 \cdot 10^{4}$
Ferro	$6.54 \cdot 10^{-8}$		
Tungsteno	$5.50 \cdot 10^{-8}$		
Leghe		**Isolanti**	
		Vetro	$10^{10} \rightarrow 10^{14}$
Manganina	$4.40 \cdot 10^{-7}$	Mica	$10^{11} \rightarrow 10^{15}$
Costantana	$4.90 \cdot 10^{-7}$	Paraffina	$2.97 \cdot 10^{16}$
Nichel-cromo	$1 \cdot 10^{-6}$	Quarzo	$7.52 \cdot 10^{17}$

La costante ***ρ*** (si legge "ro") si chiama **resistività** e dipende dal materiale di cui è fatto il filo. Nel S.I. la resistività si misura in ohm per metro **[Ω · m]**. Il valore della resistività indica se un materiale è conduttore o isolante: per i buoni conduttori va da 10^{-8} a 10^{-5} Ω·m; per i buoni isolanti è superiore a 10^{11} Ω·m (tab.1).

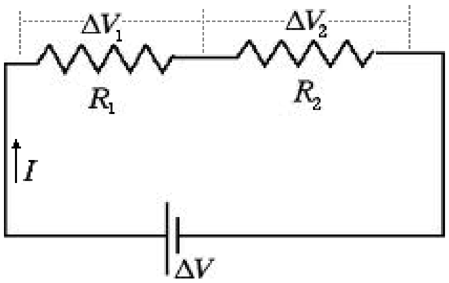
tab.1

RESISTENZE IN SERIE E IN PARALLELO

Attraverso la prima legge di Ohm possiamo analizzare il comportamento dei circuiti in cui sono inserite più resistenze, collegate in serie o in parallelo. Se chiamiamo $\boldsymbol{R_e}$ la resistenza totale del circuito (**resistenza equivalente**), possiamo scrivere

$$\Delta V = R_e \cdot I$$

- **Resistenze in serie**



In questo caso la tensione ai capi del generatore è uguale alla somma delle tensioni ai capi delle resistenze:

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2$$

Per la 1ª legge di Ohm:

$$\Delta V = R_1 \cdot I + R_2 \cdot I = (R_1 + R_2) \cdot I$$

da cui si ricava:

$$R_e = R_1 + R_2$$

fig.14

→ *La resistenza equivalente di più resistenze collegate in serie è uguale alla somma delle singole resistenze*

$$\boldsymbol{R_e = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots}$$

➢ **Resistenze in parallelo**

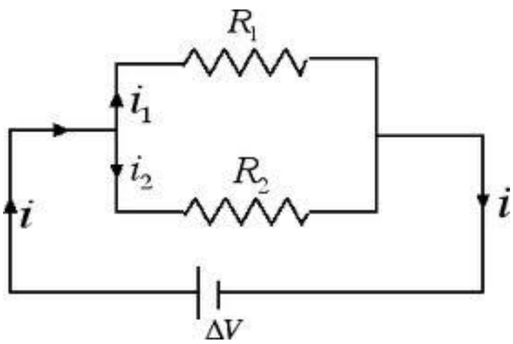


fig.15

In questo caso la corrente erogata dal generatore quando incontra il nodo si divide nei rami delle due resistenze:

$$I = I_1 + I_2$$

Per la 1ª legge di Ohm:

$$I = \frac{\Delta V}{R_e} \qquad I_1 = \frac{\Delta V}{R_1} \qquad I_2 = \frac{\Delta V}{R_2}$$

Quindi:

$$\frac{\Delta V}{R_e} = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right) \cdot \Delta V$$

da cui si ricava:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

→ *L'inverso della resistenza equivalente di più resistenze collegate in parallelo è uguale alla somma degli inversi delle singole resistenze*

$$\boldsymbol{\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots}$$

Nel caso di **due sole resistenze** la formula trovata permette di ricavare Re in modo rapido:

$$\boldsymbol{R_e = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}}$$

Le due semplici regole per il calcolo della resistenza equivalente per serie e parallelo possono essere utilizzate anche per circuiti più complessi. Basta procedere per gradi, semplificando il circuito un passo alla volta, ad iniziare dai rami più lontani dal generatore.

EFFETTO JOULE

Quando la corrente elettrica attraversa una resistenza questa si riscalda. La trasformazione di energia elettrica in calore si chiama **effetto Joule**. Questo fenomeno viene utilizzato in alcuni elettrodomestici, come ferro da stiro, asciugacapelli, lavatrice, boiler elettrico. L'energia elettrica diventa energia interna del filo, che si riscalda, emettendo calore.

→ Si chiama **potenza dissipata** dalla resistenza la rapidità con cui l'energia elettrica si trasforma in calore. Essa è direttamente proporzionale alla resistenza e al quadrato della corrente:

$$\boldsymbol{P = R \cdot I^2}$$

La formula può essere ricavata attraverso le definizioni di potenza *P*, lavoro elettrico *L* e intensità di corrente *I*, con i passaggi seguenti:

$$P = \frac{L}{\Delta t} = \frac{q \cdot \Delta V}{\Delta t} = I \cdot \Delta V$$

Per la 1ª legge di Ohm $\Delta V = R \cdot I$, da cui deriva infine la formula sopra.

L'energia termica ***Q*** dissipata in un conduttore a causa del passaggio della corrente si calcola moltiplicando la potenza per il tempo:

$$\boldsymbol{Q = R \cdot I^2 \cdot \Delta t}$$

Ricordiamo che nel S.I. la potenza si misura in Watt [W] e l'energia in Joule [J]. Per i consumi di energia elettrica tuttavia viene utilizzato di solito il **kilowattora [kWh]**, che rappresenta l'energia elettrica consumata in un'ora da un dispositivo che assorbe la potenza di 1kW:

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ W} \cdot 3600 \text{ s} = 3{,}6 \cdot 10^6 \text{ J}$$

Esercizi

MODULO 8

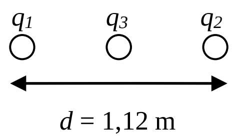
8.1 – FORZA E CAMPO ELETTRICO

1 Due cariche Q_1 = 0,20 mC e Q_2 = 0,40 mC esercitano l'una sull'altra una forza di 20 N. A che distanza si trovano?

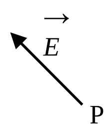
2 Due sfere metalliche di massa 1 kg vengono caricate con cariche opposte pari a 0,1 mC e poste a 1 m di distanza. Calcola la forza elettrica e la forza gravitazionale. Quante volte è più grande la forza elettrica?

3 Due cariche puntiformi si trovano a 5 cm l'una dall'altra e si respingono con una forza di 6,5 N. Una carica è $-8\cdot10^{-7}$ C. Quanto vale l'altra carica?

4 Tre biglie di vetro, disposte come in figura, portano le cariche q_1 = 0,19 mC, q_2 = 0,24 mC e q_3 = 0,050 mC. Disegna e calcola le due forze esercitate sulla biglia centrale q_3 da parte di q_1 e q_2. Disegna e calcola la forza risultante.

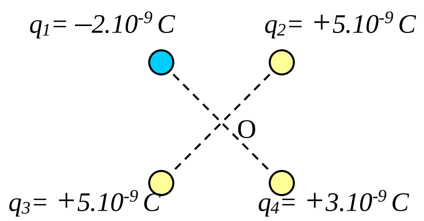


5 In un punto P c'è un campo elettrico di 2 N/C diretto come in figura. Disegna e calcola la forza su una carica $q_1 = -1$ C posta nel punto P. Fai lo stesso per una carica $q_2 = +1{,}5$ C.



6 Calcola il campo elettrico generato da una carica puntiforme di 1 μC alla distanza di 4 cm.

7 Quattro cariche puntiformi si trovano ai vertici di un quadrato, ciascuna a distanza 11 cm dal centro. Disegna i campi elettrici generati da ciascuna carica nel centro O, mostra che due di questi campi si annullano e calcola la somma degli altri due.



[3700 N/C]

8 Tra i poli di una batteria di un'automobile c'è una differenza di potenziale di 24 V. Quanto lavoro compie la forza elettrica per spostare dal + al – una carica positiva equivalente a 10^{18} cariche elementari?

9 Le armature di un condensatore piano si caricano con 15 nC quando sono collegate ai poli di una pila da 3,5 V. Di quanto si caricano con una pila da 1,5 V?

10 Una carica di 1,5 μC, muovendosi da A a B aumenta la sua energia cinetica di 0,75 J, sotto l'azione del lavoro di una forza elettrica. Calcola la differenza di potenziale fra A e B.

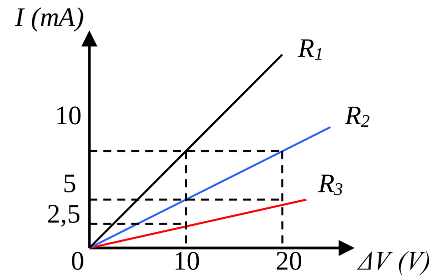
8.2 – CORRENTE ELETTRICA

11 Attraverso la sezione di un filo di rame passa in un minuto la carica Q = 0,36 C. Calcola l'intensità di corrente.

12 Un pacemaker per cardiopatici funziona con batterie di lunga durata che forniscono una corrente di 5,6 μA. La carica totale che possono produrre è di $1{,}5\cdot10^3$ C. Dopo quanti anni il dispositivo smetterà di funzionare?

[8,6 anni]

13 Nel grafico sono riportati i valori di tensione e corrente per tre diversi conduttori.



Calcola i valori delle tre resistenze.

14 L'interno del corpo umano ha una resistività di 0,15 Ω.m. Calcola la resistenza di un dito lungo 9 cm e di sezione 3,1 cm^2.

15 Una differenza di potenziale di 1,5 V viene applicata ai capi di un filo di rame lungo 80 m, del diametro di 0,8 mm. Calcola l'intensità di corrente che lo attraversa.

[0,55 A]

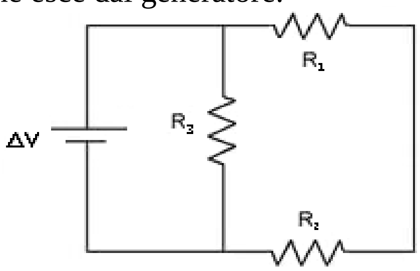
16 In un circuito sono collegate in serie due resistenze R_1 = 150 Ω e R_2 = 200 Ω. Il generatore dà una tensione di 9 V. Quanto vale l'intensità di corrente nel circuito? Qual è la d.d.p. ai capi di R_1?

[26 mA; 3,9 V]

17 In un circuito alimentato dalla tensione di 4,5 V sono collegate in parallelo le resistenze R_1 = 100 Ω, R_2 = 200 Ω e R_3 = 400 Ω. Calcola la resistenza equivalente e la corrente del generatore.

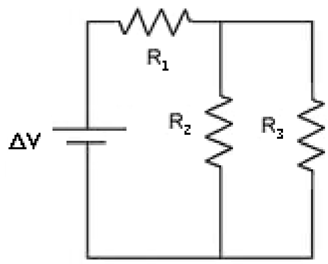
[57 Ω; 79 mA]

18 Nel circuito in figura sono dati: R_1 = 200 Ω, R_2 = 300 Ω e R_3 = 140 Ω e ΔV = 22,5 V. Trova la resistenza equivalente e la corrente che esce dal generatore.



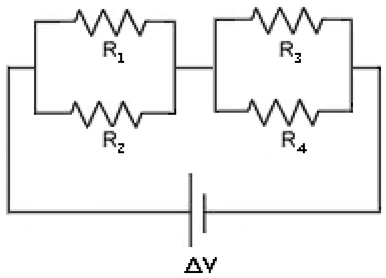
[109 Ω; 206 mA]

19 Nel circuito in figura il generatore fornisce una tensione di 10 V e le resistenze sono: R_1 = 1,5 kΩ, R_2 = 2,5 kΩ e R_3 = 2 kΩ. Trova la resistenza equivalente, la corrente del generatore e la potenza erogata.



[2,6 kΩ; 3,8 mA; 0,038 W]

20 Nel circuito in figura il generatore fornisce una tensione di 28 V e le resistenze sono: R_1 = 300 Ω, R_2 = 200 Ω, R_3 = 240 Ω e R_4 = 480 Ω. Trova la resistenza equivalente, la corrente del generatore e la potenza erogata.



[280 Ω; 0,1 A; 2,8 W]

21 Un circuito è alimentato da un generatore che fornisce una tensione di 100 V. Se la resistenza è di 50 Ω, quanto calore viene dissipato in 2 minuti?

[24 kJ]

22 Il costo medio di un kilowattora di energia elettrica domestica è di 20 centesimi di euro. Quanto si spende se si tiene acceso per 12 ore un computer con circa 250 W di assorbimento?

[0,60 €]

23 Un asciugacapelli di resistenza 40 Ω e un ferro da stiro di resistenza 50 Ω sono collegati in parallelo nell'impianto domestico, con una tensione di 220 V. Disegna lo schema del circuito, calcola la resistenza equivalente e la potenza dissipata da ciascuno dei due elettrodomestici.

[22 Ω; 1210 W; 968 W]

MODULO 9

Elettromagnetismo

- Campo magnetico
- Induzione elettromagnetica

9.1 – CAMPO MAGNETICO

FENOMENI MAGNETICI

I magneti possono essere naturali o artificiali ed hanno la proprietà di attrarre della limatura di ferro. Queste le principali proprietà:

- Un **magnete** è dotato di due poli. In un ago magnetico il **polo nord** si dispone verso il Nord geografico (Sud magnetico) e il **polo sud** viceversa.
- Poli dello stesso nome si respingono, poli di nome opposto si attraggono.
- I poli nord e sud di un magnete non possono essere separati (al contrario delle cariche elettriche opposte).
- Un magnete crea nello spazio circostante un **campo magnetico** che può essere visualizzato mediante limatura di ferro. Il campo è vettoriale, cioè a ogni punto è associato un **vettore B** che rappresenta direzione, verso e intensità del campo in quel punto. Un ago magnetico, posto in un campo, ne individua la direzione (asse dell'ago) e il verso (polo nord dell'ago).
- Il campo magnetico si rappresenta con le **linee di forza**, che sono le linee a cui è tangente in ogni punto il vettore B. La densità delle linee è proporzionale all'intensità del campo (fig.1).
- Le linee di campo sono sempre linee chiuse e vanno dal polo nord al polo sud del magnete.

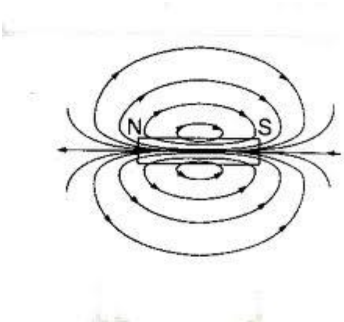


fig.1

CAMPO CREATO DA UNA CORRENTE

Nel 1820 il danese Oersted verificò sperimentalmente che una corrente elettrica genera un campo magnetico. Se il filo è rettilineo le linee del campo sono circonferenze concentriche su piani perpendicolari al filo. Il verso del campo si trova con la regola della mano destra: se il pollice indica il verso della corrente, le dita danno il verso del campo. L'intensità del campo si trova con la **legge di Biot-Savart**:

$$\boldsymbol{B = \frac{k \cdot I}{d}}$$

dove d è la distanza dal filo e k è una costante che vale 2 .10^{-7} N/A^2 (fig.2).

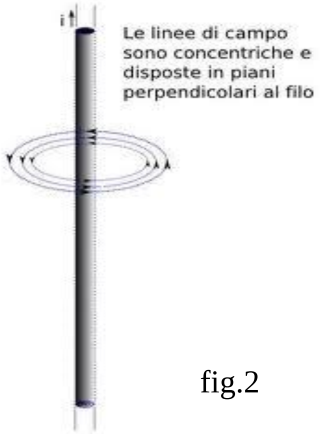


fig.2

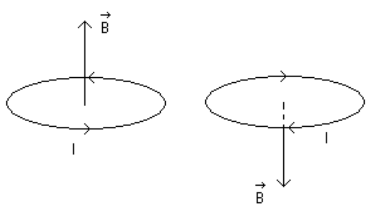


fig.3

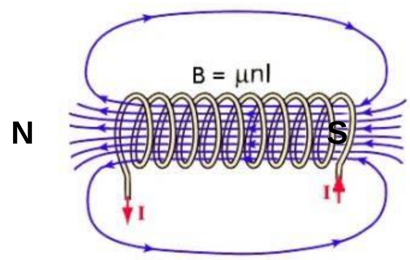


fig.4

Al centro di una spira circolare il campo è perpendicolare al piano della spira, con verso uscente se la corrente è antioraria (fig.3).

In un solenoide con **n** spire per unità di lunghezza il campo è:

$$\boldsymbol{B = 2 \cdot \pi \cdot k \cdot n \cdot I}$$

All'interno il campo è diretto lungo l'asse ed è uniforme. All'esterno il campo è come quello di un magnete rettilineo. Il polo nord è quello dove la corrente esce e il sud dove entra (fig.4).

INTERAZIONE FRA CORRENTI E CAMPI MAGNETICI

Nello stesso periodo degli esperimenti di Oersted, l'inglese Faraday scoprì che una corrente subisce una forza da parte di un campo magnetico.

Sperimentalmente si trova che un filo rettilineo di lunghezza $\boldsymbol{l}$, percorso dalla corrente $\boldsymbol{I}$, posto in un campo magnetico, risente di una forza direttamente proporzionale a l e a I e che dipende anche dall'angolo $\boldsymbol{\alpha}$ fra corrente e campo (la forza è massima se sono perpendicolari, cioè se $\alpha = 90°$ ed è nulla se sono paralleli, cioè se $\alpha = 0°$) (fig.5):

$$\boldsymbol{F = B \cdot I \cdot l \cdot sen\alpha}$$

La costante di proporzionalità $\boldsymbol{B}$ viene detta **induzione magnetica**, e rappresenta l'intensità del campo. Nel Sistema Internazionale $\boldsymbol{B}$ si misura quindi in **N/(A m)**, che prende il nome di **Tesla** (**T**).

La direzione della forza è perpendicolare al piano della corrente e del campo. Il verso si trova con la **regola della mano destra**: se il pollice è la corrente e l'indice è il campo, il medio è la forza (fig.6).

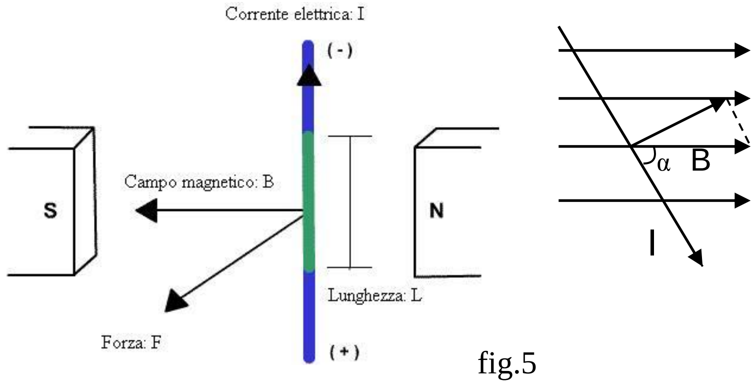


fig.5

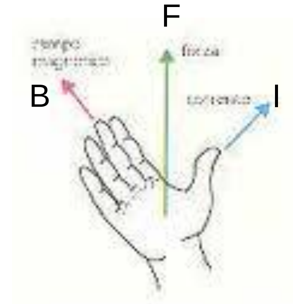


fig.6

INTERAZIONE FRA DUE CORRENTI

Nello stesso periodo di Oersted e Faraday, il francese Ampère verificò che due fili rettilinei e paralleli si attraggono se sono percorsi da correnti nello stesso verso e si respingono se le correnti hanno verso opposto (fig.7).

La forza di interazione è data da:

$$\boldsymbol{F = \frac{k \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot l}{d}}$$

dove $\boldsymbol{l}$ è la lunghezza dei fili e $\boldsymbol{d}$ la distanza.

In base a questa legge è definita l'unità di misura della corrente elettrica nel S.I.:

> un **ampère** (1 A) è la corrente che, circolando in due fili rettilinei molto lunghi e paralleli, posti alla distanza di 1 m, produce una forza di 2×10^{-7} N per ogni metro di filo.

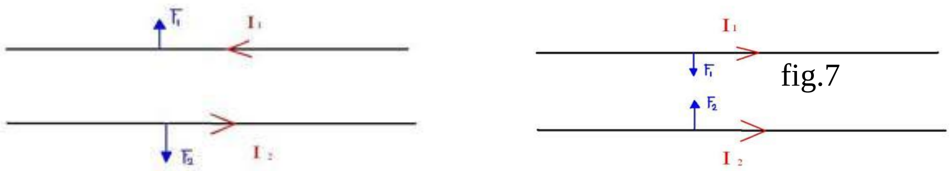


fig.7

CAMPO MAGNETICO NELLA MATERIA

Le considerazioni svolte finora sono valide nel vuoto. Indichiamo con $\boldsymbol{B_0}$ il campo in un solenoide fra le cui spire ci sia il vuoto. Inserendo un mezzo, il campo diventa $\boldsymbol{B}$. Il rapporto fra B e B_0 si chiama **permeabilità magnetica relativa** del mezzo rispetto al vuoto, e si indica con μ_r:

$$\mu_r = \frac{\boldsymbol{B}}{\boldsymbol{B_0}}$$

μ_r indica quindi quante volte il campo nel mezzo è maggiore del campo nel vuoto. Alcuni valori di μ_r sono riportati nella tabella 1.

Tabella 1: permeabilità magnetica relativa di alcune sostanze		
Sostanza	**Permeabilità magnetica relativa**	**Tipo di sostanza**
ferro temperato	5000	ferromagnetica
leghe speciali	> 5000	ferromagnetica
aria	1,0000004	paramagnetica
alluminio	1,000022	paramagnetica
platino	1,0003	paramagnetica
acqua	0,999910	diamagnetica
argento	0,999981	diamagnetica
rame	0,999990	diamagnetica
vetro	0,999987	diamagnetica

In base al valore di μ_r le sostanze si suddividono in tre categorie:

- Le sostanze **paramagnetiche** (come l'alluminio) fanno aumentare leggermente il campo $(B \geq B_0)$. Ciò significa che $\mu_r \geq 1$.
- Le sostanze **diamagnetiche** (come il rame) fanno diminuire leggermente il campo $(B \leq B_0)$. Ciò significa che $\mu_r \leq 1$.
- Le sostanze **ferromagnetiche** (come il ferro) fanno aumentare molto il campo $(B >> B_0)$. Ciò significa che $\mu_r >> 1$. In questo caso però μ_r non è costante, ma dipende dal materiale, dall'intensità del campo, dalla temperatura e dal trattamento che il materiale ha subito in precedenza. Queste sostanze infatti si magnetizzano, cioè conservano proprietà magnetiche anche in assenza di un campo esterno. Solo per temperature superiori a un valore caratteristico del materiale, detto **temperatura di Curie**, le sostanze ferromagnetiche si comportano come le paramagnetiche (per il ferro $t = 770°C$).

All'interno di un solenoide percorso da corrente viene a crearsi un campo magnetico direttamente proporzionale alla corrente **i** e al numero di spire per unità di lunghezza ***n***:

$$B = \mu_0 \cdot n \cdot I = \mu_0 \cdot H$$

dove $\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}\ N/A^2$ è la permeabilità magnetica del vuoto e H si dice **campo magnetico** e si misura in **A spire/m** (nel vuoto B e H sono proporzionali).
Se nel solenoide inseriamo un cilindro di materiale ferromagnetico, esso si magnetizza. Al crescere della corrente, aumenta H e quindi B, ma non in modo lineare (**curva di prima magnetizzazione**) (fig.8).

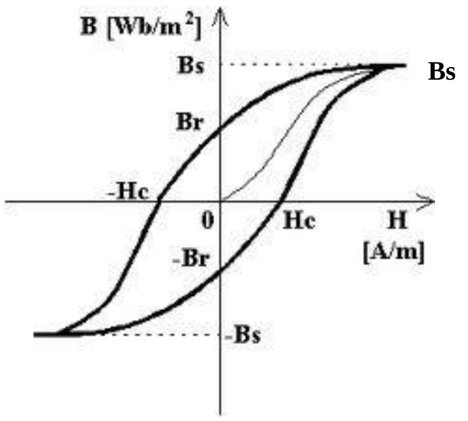


fig.8 - Ciclo d'isteresi di un materiale ferromagnetico

OBs = curva di prima magnetizzazione
Bs = valore limite di saturazione
Br = magnetismo residuo
Hc = campo coercitivo

Si scrive allora:

$$B = \mu_r \cdot B_0 = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H = \mu \cdot H$$

dove $\mu = \mu_r \cdot \mu_0$ è la **permeabilità magnetica assoluta** del mezzo.
Se si riporta a zero la corrente, la magnetizzazione non si annulla completamente (**magnetizzazione residua**). Per annullare *B* occorre invertire la corrente (**campo coercitivo**). Aumentando l'intensità di tale corrente inversa il fenomeno si ripete e *H* e *B* non tornano più sui valori della prima magnetizzazione. Tale fenomeno, per cui *B* varia più lentamente rispetto ad *H***,** si dice **isteresi magnetica** e la curva chiusa che lo rappresenta **ciclo d'isteresi** (fig.8).

FORZA DI LORENTZ

Quando una particella carica si muove in un campo magnetico, è soggetta a una forza, detta **forza di Lorentz**, che tende a modificarne la traiettoria.
Tale forza è direttamente proporzionale alla carica q, alla velocità v e alla componente del campo perpendicolare alla velocità, $B\ sen\alpha$:

$$F = q \cdot v \cdot B \cdot sen\alpha$$

dove α è l'angolo fra *v* e *B*. La forza è quindi massima quando *v* e *B* sono perpendicolari, e nulla quando sono paralleli.

La direzione della forza è sempre perpendicolare al piano di *v* e *B*. Il verso si trova con la regola della mano destra, con il pollice nel verso della velocità se la carica è positiva, nel verso opposto se è negativa (fig.9).

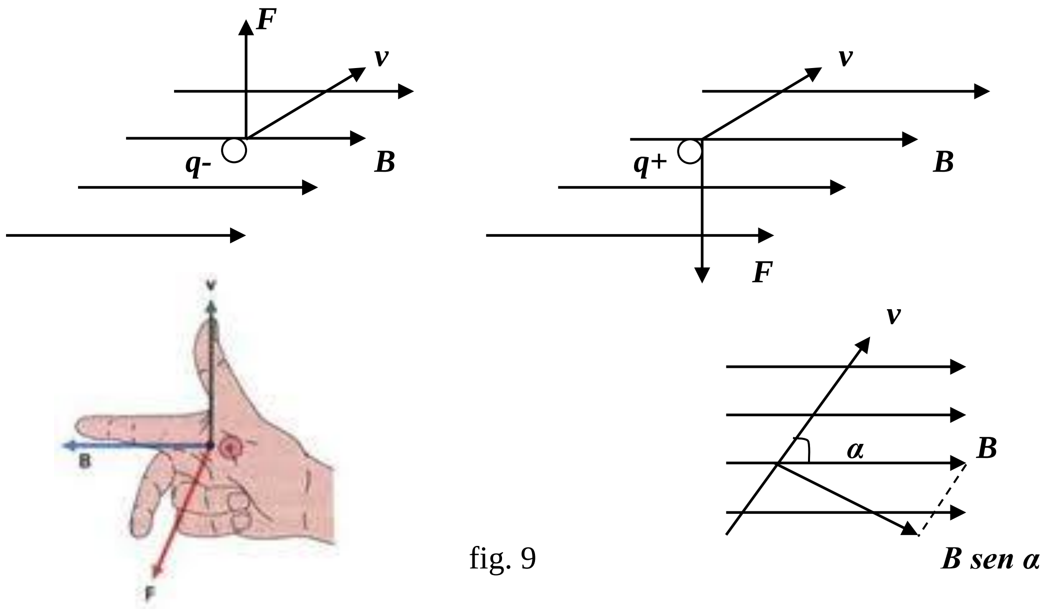


fig. 9

9.2 – INDUZIONE ELETTROMAGNETICA

FENOMENI DI INDUZIONE

Nel 1831 l'inglese Michael Faraday scoprì, attraverso una famosa serie di esperienze, come fosse possibile creare una corrente senza far uso di generatori. Tale fenomeno si chiama **induzione elettromagnetica** e la corrente così generata si dice indotta.
Queste le due esperienze fondamentali eseguite da Faraday:

Conduttore fermo, campo magnetico variabile (fig.1).

Nel circuito indotto B, in cui è inserito solo uno strumento a zero centrale che rivela correnti molto piccole, circola corrente soltanto nel breve tempo di chiusura o di apertura dell'interruttore (in verso opposto nei due casi). Quando il circuito A è chiuso in B non circola corrente. Il nucleo di ferro non è indispensabile, ma serve solo ad aumentare l'effetto.

Una variante dell'esperimento si può ottenere inserendo nel circuito induttore un reostato (resistenza variabile). In tal caso si ha una corrente indotta solo finché si muove il cursore del reostato.

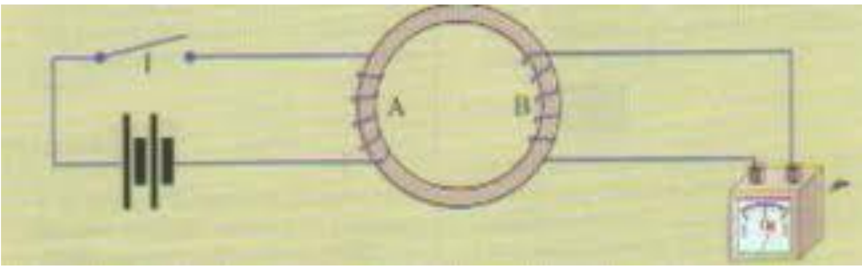


Fig. 1

Conduttore fermo, magnete in moto, o viceversa (fig.2).

Avvicinando un magnete a una bobina, in cui è inserito solo un milliamperometro a zero centrale, si produce una corrente indotta, che dura solo finché il magnete si muove. Allontanando il magnete la corrente ha verso opposto. Inoltre l'avvicinamento del Nord produce lo stesso effetto dell'allontanamento del Sud, e viceversa. L'effetto si ottiene anche muovendo il circuito invece del magnete (vedi anche il funzionamento dell'**alternatore,** paragrafo 5).

Lo stesso effetto si può ottenere utilizzando al posto del magnete un secondo circuito percorso da corrente. Si ha una corrente indotta quando c'è moto relativo fra i due circuiti.

In ogni caso la corrente indotta è tanto più grande quanto più rapido è il movimento.

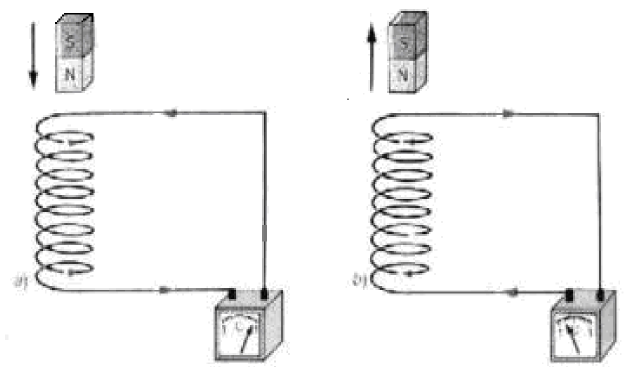


Fig. 2 *a) Mentre si avvicina una calamita alla bobina si produce una corrente indotta. b) Allontanando la calamita si genera una corrente indotta di verso opposto.*

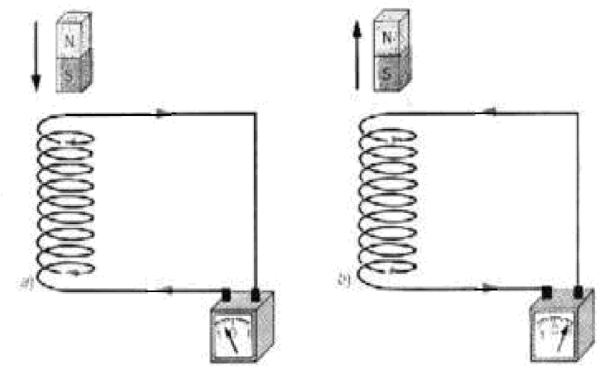


Fig. 2 - *I versi delle correnti indotte sono l'opposto di quelli del circuito precedente, se si avvicina (a) o si allontana (b) il polo Sud di un magnete anziché il polo Nord.*

In entrambe le esperienze **le correnti indotte si producono quando il campo magnetico sulla superficie delimitata dal circuito indotto varia nel tempo.**

Infatti nel primo caso, alla chiusura del circuito la corrente cresce da zero a un massimo e lo stesso fa il campo magnetico, mentre all'apertura si ha una diminuzione della corrente e del campo dal massimo a zero. Anche spostando il cursore del reostato si ottiene un aumento o una diminuzione della corrente e del campo. Nel secondo caso, quando magnete e bobina sono in moto relativo, il numero delle linee di campo che attraversano la bobina varia nel tempo.

FLUSSO MAGNETICO

Per rendere quantitative le osservazioni precedenti, introduciamo una nuova grandezza fisica, che dipende sia dal campo magnetico, sia dalla superficie che le linee del campo attraversano.

Si chiama **flusso del vettore *B*** attraverso la superficie ***S*** il prodotto fra ***B*** e la proiezione di ***S*** perpendicolare a ***B***, $S_\perp$:

$$\Phi = B \cdot S_\perp = B \cdot S \cdot \cos\alpha$$

dove α è l'angolo fra ***B*** e la normale alla superficie, **n** (fig.3).

Il flusso è quindi positivo, negativo o nullo a seconda del valore di α. In particolare è massimo quando *B* è perpendicolare a *S*, nullo quando *B* è parallelo a *S*.

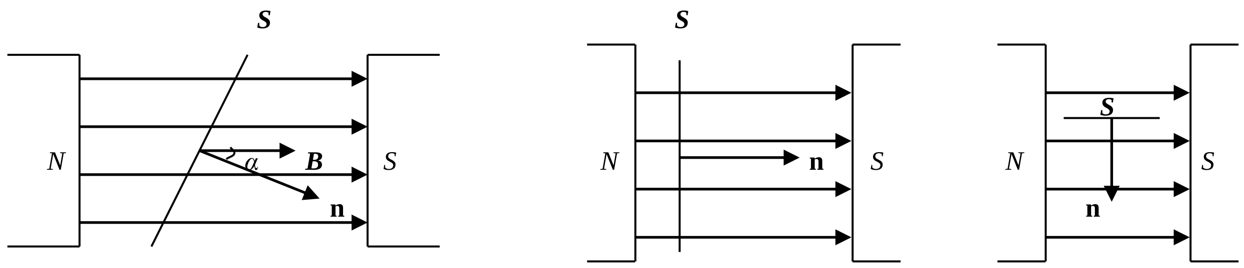


fig. 3a: $\Phi = B\,S\cos\alpha$ fig. 3b: Φ *massimo* fig. 3c: $\Phi = 0$

Nel S.I. il flusso magnetico si misura in **Weber** (**Wb**):

$$\mathbf{1\ Wb = 1\ T \times 1\ m^2 = 1\ \frac{N}{A\,m} \times 1\ m^2 = 1\ \frac{N\,m}{A}}$$

In tutte le esperienze descritte in precedenza c'è una caratteristica comune:

→ ***nasce una corrente indotta ogni volta che il flusso di B attraverso il circuito indotto varia nel tempo***.

Dalla definizione, si deduce che Φ può variare se cambia nel tempo almeno una delle tre grandezze: *B*, *S* o α.

Ricordiamo infine che il flusso attraverso una bobina formata da *N* spire è N volte maggiore di quello attraverso una singola spira (dato che è concatenato N volte):

$$\Phi = N \cdot B \cdot S_{\perp} = N \cdot B \cdot S \cdot \cos\alpha$$

Perciò, per avere grandi variazioni di flusso, conviene utilizzare bobine con molte spire.

LEGGE DI FARADAY-NEUMAN

Ogni volta che il flusso magnetico concatenato con un circuito varia, si genera una differenza di potenziale indotta, che se il circuito è chiuso dà luogo a una corrente indotta. La d.d.p. indotta ΔV non è quindi fornita da un generatore ma dalla variazione di flusso $\Delta\Phi$, ed è tanto maggiore quanto più è rapida tale variazione.

Questo legame fra ΔV e $\Delta\Phi$ è stabilito dalla **legge di Faraday-Neumann** (1845):

$$\Delta V = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

→ ***La d.d.p. indotta è direttamente proporzionale alla variazione di flusso e inversamente proporzionale all'intervallo di tempo in cui avviene tale variazione***.

Per la 1° legge di Ohm, la corrente indotta in un circuito chiuso di resistenza R è:

$$I = \frac{1}{R} \cdot \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

LEGGE DI LENZ

Le correnti indotte non possono avere un verso qualunque, dato che per il principio di conservazione dell'energia per produrre energia elettrica si deve compiere un lavoro. Questo è contenuto nella legge stabilita dal russo Emilij C. Lenz:

→ ***Il verso della corrente indotta è tale da opporsi col suo campo magnetico alla causa che l'ha generato, cioè alla variazione di flusso.***

Nell'esempio in fig.4, se un magnete viene avvicinato con il polo Nord a una spira, la corrente indotta ha un verso tale da generare un campo con il polo Nord verso il magnete; viceversa se si avvicina il Sud. Si incontra quindi una resistenza nell'avvicinare il magnete, e il lavoro che occorre compiere si trasforma nell'energia degli elettroni che si muovono nella spira, dando luogo alla corrente indotta. Se così non fosse, cioè se il magnete fosse attratto dalla spira, si cadrebbe in un assurdo, poiché si creerebbe corrente senza spendere alcun lavoro.

a) b)

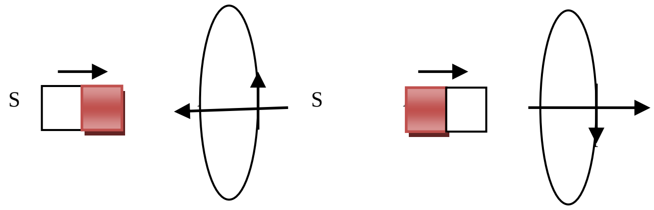
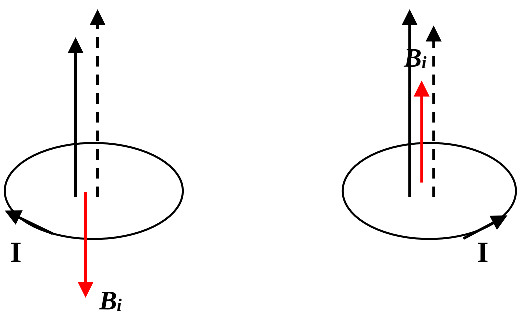


fig.4a: Il magnete si avvicina alla spira con il polo Nord; il campo indotto si oppone all'aumento di flusso.

fig.4b: Il magnete si avvicina con il Sud; il campo indotto ha il verso opposto.

Più in generale quando il flusso di B attraverso una spira aumenta $(\Delta\Phi > 0)$, la corrente indotta ha un verso tale da generare un campo indotto B_i che si sottrae a quello inducente; quando invece il flusso di B diminuisce $(\Delta\Phi < 0)$, la corrente indotta produce un campo B_i che si somma a quello inducente (fig.5).

B aumenta ***B*** diminuisce



APPLICAZIONE: PRODUZIONE DELLA CORRENTE ALTERNATA

Il fenomeno dell'induzione è sfruttato per produrre le correnti alternate. L'alternatore trasforma infatti energia cinetica di rotazione in energia elettrica. Il principio di funzionamento è questo: una spira rettangolare viene fatta ruotare in un campo magnetico, intorno a un asse perpendicolare alle linee del campo (fig.6).

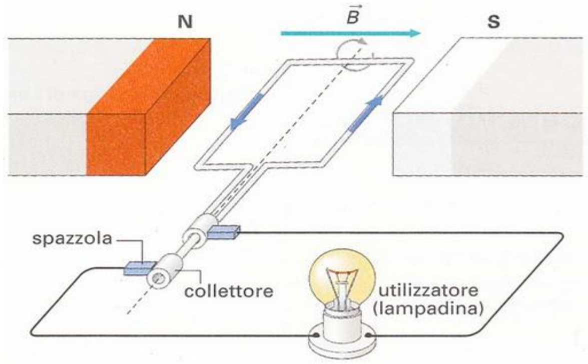


fig. 6

Mentre la spira ruota il flusso attraverso la sua superficie cambia. Nasce quindi una corrente indotta nel circuito collegato alla spira. Gli estremi della spira sono saldati a due anelli metallici (collettori), su cui poggiano due contatti striscianti fatti di grafite (spazzole), che portano la corrente al circuito esterno senza impedire la rotazione della spira. Durante un giro completo della spira, il flusso passa da un valore zero a un valore massimo, poi di nuovo a zero, quindi a un massimo negativo e infine torna a zero; di conseguenza la f.e.m. indotta, che è proporzionale alla variazione di flusso, varia in modo analogo, ma con un quarto di periodo di ritardo. Nel circuito esterno si ha quindi una corrente che cambia verso ogni mezzo periodo e varia con la stessa frequenza con cui ruota la spira. Se la frequenza è costante l'andamento della corrente è sinusoidale. Si tratta di una **corrente alternata** (fig.7).

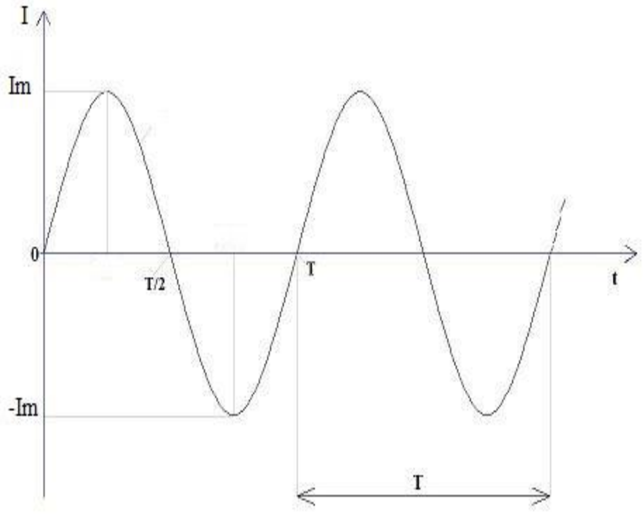


fig.7

Le grandezze che la caratterizzano sono:

- l'**ampiezza** $\boldsymbol{I_{max}}$, cioè il valore massimo che la corrente può assumere;
- il **periodo** ***T***, cioè l'intervallo di tempo fra due massimi successivi;
- la **frequenza**, cioè il numero di oscillazioni in un secondo;
- il **valore efficace** $\boldsymbol{I_{eff}}$, cioè quel valore di corrente continua che, passando in un conduttore, produce la stessa quantità di calore nello stesso tempo; per una corrente sinusoidale, il valore efficace è dato da:

$$I_{eff} = I_{max} / \sqrt{2}$$

La stessa relazione vale per la tensione efficace

$$V_{eff} = V_{max} / \sqrt{2}.$$

Esercizi

MODULO 9

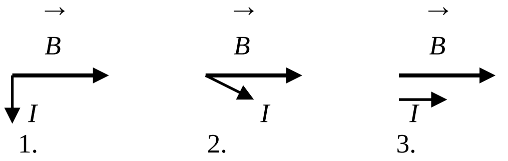
9.1 – CAMPO MAGNETICO

1 Un filo rettilineo è percorso dalla corrente di 4,5 A. A quale distanza dal filo il campo magnetico vale quanto quello di una piccola calamita, cioè circa 10^{-2} T?

2 Un filo rettilineo è percorso da una corrente di 10 A. Calcola il campo magnetico a una distanza di 25 cm dal filo.

3 Un filo conduttore lungo 20 cm è percorso da una corrente di 0,1 A e viene posto in un campo magnetico d'intensità B = 0,2 T. Calcola la forza che agisce sul filo e indicane direzione e verso nei seguenti casi:

1. filo perpendicolare al campo
2. filo a 30° con il campo
3. filo parallelo al campo



4 Un filo lungo 50 cm, percorso dalla corrente di $7{,}5\cdot10^{-3}$ A, si trova in un campo magnetico, in modo che la forza agente sia massima e pari a 3,2 N. Calcola il campo.

5 Due fili paralleli sono percorsi dalle correnti I_1 = 0,5 A e I_2 = 2 A. Su un tratto di 20 cm dei fili agisce una forza di $4\cdot10^{-7}$ N. Calcola la distanza fra i fili.
Qual è il campo prodotto dal secondo filo alla distanza a cui si trova il primo?

[10 cm; 4 μT]

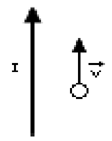
6 A una distanza di 8 cm da un filo conduttore il campo magnetico vale 4,8 μT.

a. Calcola la corrente.
b. Se lo stesso filo viene posto per un tratto di 60 cm perpendicolarmente a un campo magnetico, agisce una forza di 14 μN. Calcola il campo.
c. Se il filo viene posto a 20 cm da un secondo filo percorso da una corrente di 2,4 A in verso opposto, qual è la forza agente sullo stesso tratto di 60 cm?

[1,9 A; $1{,}2\cdot10^{-5}$ T; 2,8 μN]

7 Una particella di carica $3{,}2\cdot10^{-19}$ C attraversa un campo magnetico di 2,8 T con una velocità di $5{,}5\cdot10^{4}$ m/s perpendicolare alle linee del campo. Calcola la forza che agisce sulla particella.

8 Una particella di carica positiva si muove con velocità v = 10 m/s parallelamente a un filo percorso da una corrente I = 0,4 A a distanza d = 55 cm dal filo.



a. Calcola il campo del filo nella posizione della carica.
b. Quali sono direzione e verso di B? Quale angolo forma con v?
c. Calcola la carica della particella sapendo che su di essa agisce una forza $F = 7\cdot10^{-12}$ N.

[$1{,}5\cdot10^{-7}$ T; 4,8 μC]

9.2 – INDUZIONE ELETTROMAGNETICA

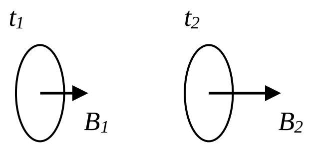
9 Una spira di rame ha la forma di un quadrato di lato 32 cm e si trova in un campo magnetico di intensità $8{,}5\cdot10^{-3}$ T.

a. Calcola il flusso massimo attraverso la superficie della spira.
b. Calcola il flusso se il piano della spira forma un angolo di 45° con il campo.

10 Una bobina percorsa da corrente è formata da spire di area 2 cm^2 ciascuna. Al suo interno il campo magnetico è 0,25 T. Calcola quante spire deve avere la bobina perché il flusso totale sia di 1 Wb.

[20000]

11 Una spira di area 35 cm^2 si trova in un campo magnetico che varia da 0,2 a 1,8 T in 1 s. Calcola la forza elettromotrice indotta. Disegna il campo magnetico indotto e il verso della corrente indotta.



[5,6 mV]

12 Il flusso del campo magnetico concatenato con un circuito di resistenza totale 7,8 Ω varia da 12 a 18,7 Wb in 4,5 s. Calcola la forza elettromotrice indotta e la corrente che circola nel circuito.

13 Un circuito, di area 40 cm^2, è posto perpendicolarmente alle linee di un campo magnetico. Il flusso attraverso la superficie è di $1{,}8 \cdot 10^{-5}$ Wb. Calcola il campo magnetico.

[$4{,}5 \cdot 10^{-3}$ T]

14 Un circuito di resistenza totale 2,1 Ω si trova in un campo magnetico. Una variazione di flusso di 3,4 Wb genera una corrente indotta di 110 mA. In quanto tempo è avvenuta la variazione di flusso?

[14,7 s]

INDICE

Modulo 1:	**GRANDEZZE FISICHE ED ERRORI**	**1**
1.1 – Le grandezze fisiche e la loro misura		2
1.2 – Le incertezze sperimentali		3
ESERCIZI		5
Modulo 2:	**LE FORZE E L'EQUILIBRIO DEI SOLIDI**	**7**
2.1 – Le forze		8
2.2 – I vettori		9
2.3 – L'equilibrio dei solidi		11
ESERCIZI		13
Modulo 3:	**LA PRESSIONE L'EQUILIBRIO DEI FLUIDI**	**15**
3.1 – L'equilibrio dei fluidi		16
ESERCIZI		19
Modulo 4:	**LE FORZE E IL MOVIMENTO**	**20**
4.1 - I moti rettilinei		21
4.2 – Le forze e il moto		26
ESERCIZI		29
Modulo 5:	**LAVORO ED ENERGIA**	**31**
1.1 – Il lavoro e la potenza		32
1.2 – L'energia: forme, trasformazioni, conservazione		33
ESERCIZI		36
Modulo 6:	**TERMOLOGIA**	**37**
2.1 – La temperatura		38
2.2 – Il calore		39
ESERCIZI		43
Modulo 7:	**TERMODINAMICA**	**44**
3.1 – Scambi di energia e primo principio		45
3.2 – Macchine termiche e secondo principio		47
ESERCIZI		50
Modulo 8:	**CARICHE E CORRENTI ELETTRICHE**	**52**
4.1 – Forza e campo elettrico		53
4.2 – Corrente elettrica		56
ESERCIZI		60
Modulo 9:	**ELETTROMAGNETISMO**	**62**
5.1 – Campo magnetico		63
5.2 – Induzione elettromagnetica		66
ESERCIZI		71